INTRODUCCIÓN

ANTECEDENTES

El banano (musa paradisíaca) es una de las plantas más cultivas y más antigua en el mundo. Hace más de tres mil años, que se menciona en escritos chinos como uno de los primeros alimentos del hombre primitivo. Los antiguos lo llaman “fruto de los hombres sabios” (musa paradisiaca). Dada sus cualidades nutricionales superiores. (Soto, M. 1992).

El fruto del banano tarda entre 80 y 180 días en desarrollarse por completo, de 7 a 30 cm de largo y hasta 5 de diámetro, que forma un racimo compacto, la pulpa es blanca a amarilla, rica en almidón y dulce. . (Soto, M. 1992).

La fruta de banano contiene 60% de pulpa y 40% de cáscara, es decir que de una caja de banano de 18.14 kg se desperdician 7.25 kg como cáscara. (Soto, M. 1992).

El banano es una fruta que se consume bastante en países del Caribe, Centroamérica, y Sudamérica. En Bolivia, sobre todo, se cultiva en la zona oriental, en el Chapare de Cochabamba, en Alto Beni, en los Yungas y Caranavi de La Paz, con una producción anual bastante alta, en la gestión 2007 exportó más de 8.9 millones de dólares en banano, siendo sus principales mercados Argentina, Chile, Suiza y Nueva Zelandia. Actualmente existen 63895 hectáreas cultivadas de este producto. De acuerdo a datos de la revista mensual "Exportemos", de la Cámara Nacional de Exportadores de Bolivia (CANEB) y el Instituto Boliviano de Comercio Exterior (IBCE), Bolivia registra actualmente 63.895 hectáreas cultivadas de banano. (IBCE, 2000).

FIGURA i-1. PROYECCIÓN DE EXPORTACIÓN BOLIVIANA DE BANANO EN DÓLARES

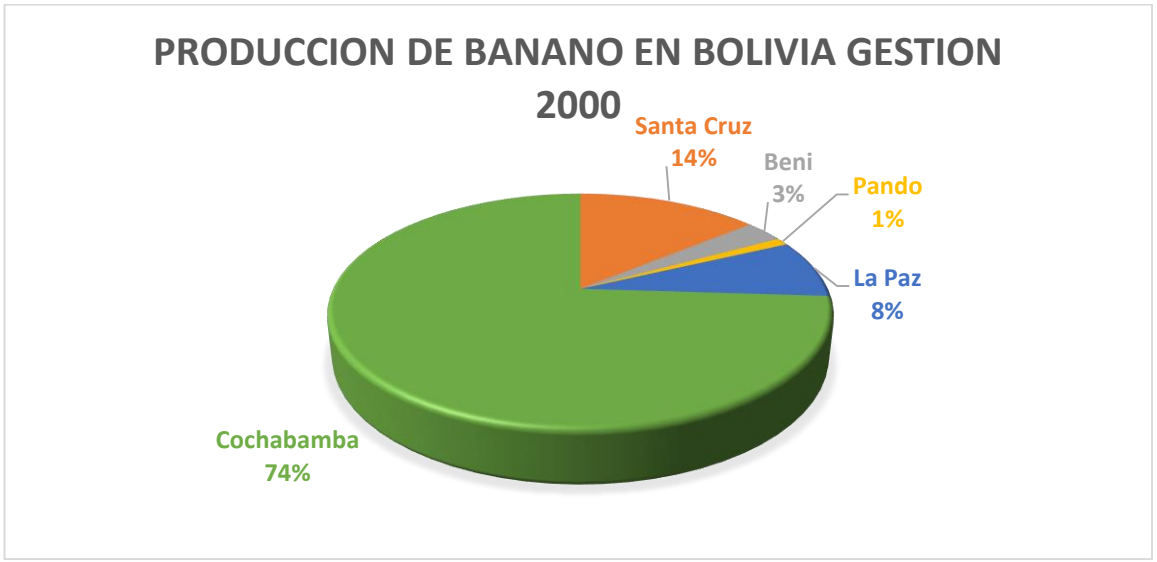


Fuente: IBCE, 2000.

La zona de mayor producción es el trópico de Cochabamba, (según la Secretaría Nacional de Agricultura y Ganadería), cubriendo el mercado regional, nacional, y el mercado internacional en pequeña escala.

En la figura i-2 se puede denotar la producción de banano por departamentos en Bolivia

FIGURA i-2. PRODUCCIÓN DE BANANO POR DEPARTAMENTOS GESTIÓN 2000



Fuente: IBCE, 2000.

Bolivia es un país tercermundista por lo que es lógico esperar una baja industrialización, aunque con el pasar de los años, se confirma que va por un buen

camino la industrialización de las pequeñas, medianas y grandes empresas. Aun así los departamentos que empezaron a surgir industrialmente son Santa Cruz, La Paz y Cochabamba, Tarija si bien cuenta con algunas industrias estas son escasas.

El hecho de dar un valor agregado a un producto industrialmente como es el banano maduro de descarte (cáscara y pulpa), tiene efectos positivos a nivel regional y nacional. Las pérdidas que se generan por la sobre madurez del banano son considerables. Esto no solo para empresarios, sino también para agricultores que encuentran en la industria un mercado seguro para sus productos, además de los empleos que se originan como consecuencia de la industria.

El agricultor se ve afectado en periodos específicos debido al bajo precio que alcanzan estos productos en el mercado a consecuencia de la abundancia del producto. Esto conlleva a que la fruta se acumule y se descomponga o a que los agricultores dejen de cosechar hasta que suba nuevamente el precio del producto en el mercado.

Debido a la creciente necesidad y al cambio global que se está presentando, se busca cualquier oportunidad de reutilización de los residuos para fortalecer su capacidad de mejoramiento continuo, como se sabe las nuevas tendencias que se buscan en el sector de los combustibles es buscar nuevas oportunidades para la obtención de combustibles amigables con el medio ambiente.

Por esta razón nuestra atención se centra en el sector bananero ya que luego de realizar el corte del fruto se acumula una gran cantidad de materia vegetal que se utiliza para consumo interno porque no cumple con las normas estrictas de exportación, a pesar de aprovechar esa materia vegetal, aun así quedan residuos el cual se podría utilizar para la producción de alcoholes, aprovechando cáscara y pulpa, toda la fruta en sí.

La lignocelulosa es la biomasa renovable más abundante proveniente de la fotosíntesis, posee potencial de ser una fuente de químicos y carbohidratos como el etanol sostenible.

El banano es una materia prima apta para la obtención de etanol. Esto se puede corroborar en los aprovechamientos que realizaron en Perú, las estudiantes Alexandra Cordero y Leyla Gamonal, estudiantes del colegio San Agustín de Santa

Anita, ganadoras de la feria escolar Eureka 2014 organizada por el CONCYTEC Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología e Innovación Técnica Lima noviembre de 2014.

Fuente: https://www.youtube.com/watch?v=f-t2rdeKtLo

Ellas demostraron que sí es posible la obtención de etanol a partir de cáscara de banano maduro, por este motivo también se aprovechara tanto cáscara como la pulpa para mejorar los rendimientos del proceso.

El banano presenta un alto contenido de carbohidratos (aproximadamente 20% de su peso) aptos para procesos fermentativos, los mismos están encaminados a la producción de etanol a partir de la cáscara como de la pulpa (Sierra D. M., 2007).

El banano maduro es un alimento muy nutritivo, cuenta con gran cantidad de hidratos de carbono dotando de energía a nuestro organismo por su rápida digestión, su riqueza de potasio y debido a su textura es ideal para niños, deportistas y ancianos, ayuda a la eliminación de líquidos y por lo tanto, ayuda a mejorar la hipertensión arterial, además de contener magnesio, ácido fólico. La vitamina C combinada con su riqueza en fósforo resulta ideal para el fortalecimiento de la mente, también contiene sustancias de acción astringente por la cantidad de taninos, sin despreciar su elevado aporte de fibra. (Sierra D. M., 2007).

Los residuos de frutas se constituyen principalmente de cáscaras de naranja, piña, papaya y banano, por ser estas las que se encuentran en mayor proporción, por lo tanto estos residuos se constituyen una alternativa como materia prima de otros subproductos, aprovechando las propiedades biológicas, físicas y químicas que poseen.

TABLA i-1. COMPOSICIÓN QUÍMICA DE CÁSCARAS DE FRUTAS

Datos por 100g de muestra

Cáscara	Agua (g)	Proteína (g)	Grasa (g)	Cenizas (g)	Fibra (g)	Carbohidratos (g)
Naranja	85	0.8	0.2	0.5	0.7	13.5
Piña	87.9	0.6	0.2	0.3	1.2	11
Papaya	85.9	0.5	0.1	0.7	----	12.8
Banano	74.8	1.2	0.1	0.9	----	23

Fuente: FLORES, G. M. 2013.

A partir de este significativo uso, las cáscaras de los productos no cuentan con ningún tipo de aprovechamiento a pesar de ser reconocido que las mismas cuentan con apreciable valor nutricional, por lo que estas cáscaras son tratadas como residuos con las consabidas afectaciones medioambientales que su disposición provoca.

En la tabla i-2 se muestra los principales componentes químicos del banano maduro.

TABLA i-2. COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL BANANO MADURO (%)

COMPONENTE	PORCENTAJE (%)
Agua	75.12
Almidón	4.21
Celulosa	0.92
Sacarosa	9.36
Glucosa	5.19
Dextrosa	1.76
Gomas	1.60
Taninos	0.01
Proteínas	2.10
Cenizas	0.76

Fuente: FLORES, G. M. 2013.

En la tabla i-3 se muestra los componentes químicos que se encuentran presentes en la cascara del banano, siendo el principal los azucares que son de principal interés.

TABLA i-3. COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA CÁSCARA DE BANANO MADURO

Componente	Porcentaje (%)
Almidón	35.0
Azúcares solubles (Glucosa, Fructuosa y sacarosa)	31.6
Celulosa	10.5
Hemicelulosa	14.0

Fuente: FLORES, G. M. 2013.

Se quiere evaluar la factibilidad de producción de etanol a partir de banano con el fin de dar una alternativa de uso a los residuos que no son comercializados reduciendo, además, el impacto ambiental al utilizar estos residuos que de otra manera aumentarían el grado de contaminación. (FLORES, G. M. 2013).

En el país del Salvador, se realizó un trabajo de investigación sobre la obtención de etanol por medio de fermentación alcohólica del banano utilizando como microorganismo productor *Saccharomyces cerevisiae,* utilizando la siguiente metodología:

El estudio es de tipo experimental, ya que se desarrolló la práctica de laboratorio para recolectar información y datos necesarios a cerca de la investigación, así mismo se clasifica como estudio prospectivo, debido a que se demostró a través de un lapso de tiempo y en una población determinada, la obtención de alcohol etílico utilizando como medio de producción cáscaras de *Musa paradisíaca (*Banano) en estado maduro y un microorganismo productor *Saccharomyces cerevisiae.*

La práctica de laboratorio se realizó en un período aproximado de un mes, en el laboratorio de Microbiología en el Centro de Investigación y Desarrollo en Salud (CENSALUD), en los laboratorios de Química Orgánica, y en el Laboratorio de

Análisis de Aguas de la Facultad de Química y Farmacia de la Universidad de El Salvador. (GIRON, G. M. 2013).

JUSTIFICACION

El buen manejo de los recursos naturales es un tema que día a día va tomando importancia a nivel mundial. El aprovechamiento de desechos agrícolas para la elaboración de nuevos productos representa una alternativa viable para alcanzar las metas de sostenibilidad, ya que además de brindar beneficios sociales y ambientales, es socioeconómicamente rentable.

El banano en Bolivia es una fuente de ingresos procedentes de la exportación agrícola en el país, la producción se ha incrementado rápidamente, sin embargo el incremento y la extensión de banano de exportación, trae consecuentemente un aumento en la producción, una parte de este banano de rechazo, es utilizado para suplir la demanda interna, pero otra cantidad queda sin uso, la cual, si tiene una mala disposición tienden a generar mosquitos, moscas, hongos y malos olores que afectan la salud de quienes trabajan ahí, por lo que es necesario encontrar nuevas alternativas para la utilización de estos.

A través de la ejecución del presente proyecto de trabajo de grado se busca dar valor agregado a los desechos de la fruta del banano (cáscara y pulpa), mediante la conversión de esta materia prima de relativo bajo costo en alcohol (por medio de hidrolisis acida) que podría ser de elevado valor para su utilización, dar una alternativa de consumo y/o generar recursos para las personas que comercializan estas frutas y que ven disminuidos sus ingresos por la perescibilidad de esta fruta en muy corto tiempo de comercialización.

Las cáscaras de Musa paradisíaca (banano) en estado maduro poseen un 31.6% de azúcares solubles, por lo cual se considera una alternativa para la producción de alcohol. Algunas frutas como el banano poseen un valor energético definido, que además de azúcar, tiene la particularidad de poseer almidón, que se digiere con gran facilidad, y que en el proceso de maduración un gran porcentaje del almidón se convierte en azúcar

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

- Obtener alcohol a partir de banano maduro de descarte.

OBEJTIVOS ESPECIFICOS

- Determinar las características fisicoquímicas del banano maduro de descarte.
- Realizar el diseño factorial para el proceso de fermentación.
- Obtener alcohol del banano maduro mediante un proceso de fermentación alcohólica (hidrólisis ácida) por levadura, (*Saccharomyces cerevisiae*).
- Determinar las variables de la cinética de fermentación.
- Determinar los parámetros óptimos para la obtención de alcohol por destilación.
- Determinar las propiedades fisicoquímicas del producto final.

CAPITULO 1
MARCO TEÓRICO

CAPITULO 1
MARCO TEÓRICO

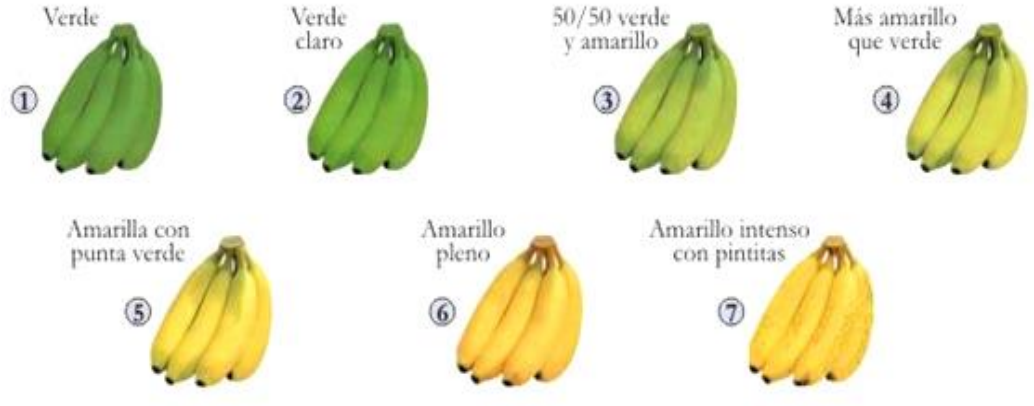
1.1. GENERALIDADES DE LAS MUSACEAS

Hoy en día debido a la gran cantidad de híbridos de las familias de las musáceas que varias industrias han desarrollado con el fin de optimizar su producción, e incrementar ganancias, en el mercado resulta bastante complicado y hasta casi imposible poder establecer, el tipo de hibrido que se cultiva, de ahí que se ha optado por dar una clasificación general en cuanto al banano se refiere, clasificándolo como *Musa paradisíaca.* (FLORES, G. M. 2013).

El banano es una baya carnosa que se encuentra en racimos, posee una cáscara gruesa con aristas en la superficie, lo cual lo protege, cuando madura es de color amarillo y las aristas desaparecen quedando casi liso; el fruto tiene un tamaño promedio de 20-25 centímetros, con diámetro aproximado de 4 centímetros. Es de sabor dulce en su estado maduro por lo cual se come crudo, asado, frito, etc., cuando está verde no es dulce. Muchas frutas, particularmente el banano poseen un valor energético definido, que además de azúcar, tiene la particularidad de poseer almidón, que se digiere con gran facilidad, y en el proceso de maduración un gran porcentaje de almidón se convierte en azúcar. (FLORES, G. M. 2013).

El banano es considerado el cuarto cultivo más importante del mundo, un producto básico de exportación, fuente de empleo e ingresos de numerosos países en vías de desarrollo. En la figura 1-1 podemos observar el grado de madurez del fruto desde su cosecha hasta la sobre madurez del banano. (FLORES, G. M. 2013).

FIGURA 1-1. GRADO DE MADUREZ DEL BANANO



Fuente: FLORES, G. M. 2013.

1.2. MORFOLOGÍA Y TAXONOMÍA DEL BANANO.

En la tabla I-1 se muestran datos obtenidos por un estudio realizado por el Ingeniero Ismael Acosta, como apoyo en la caracterización de la materia utilizada de este proyecto. (ACOSTA, I. 2015).

TABLA I-1. MORFOLOGÍA Y TAXONOMÍA DE BANANO

Reino	Vegetal
Phylum	Telemophytae
División	Tracheophytae.
Sub División	Anthophyta.
Clase	Angiospermae.
Sub Clase	Monocotyledoneae
Orden	Scitaminales
Familia	Musaceae.
Nombre científico	*Musa paradisiaca* L.
Nombre común	Banano

Fuente: ACOSTA, I. 2015.

.

1.3. FRUTOS CLIMATÉRICOS

Los bananos al pertenecer al grupo de frutos climatéricos, siguen madurando después de la cosecha. Estos frutos experimentan una actividad respiratoria muy alta hasta que se da inicio a la elevación climatérica, y una vez en este estadio la maduración es un proceso irreversible que puede ser atrasado pero no detenido por factores externos. En el caso de este fruto, se ha observado que presenta aumentos en la producción de etileno al comienzo de la maduración.

1.4. VARIEDADES CULTIVADAS DE BANANO EN BOLIVIA

A nivel mundial existe una gama extensa de variedades de banano con orígenes distintos; a continuación solo se cita las variedades más cultivadas en Bolivia.

La *Musa paradisiaca*, que viene a producir el 30% del género, proporcionando frutos comestibles si se asan o cuecen (técnicamente son los verdaderos plátanos)

La Musa cavendish con 70% de la producción del género. Sus frutos, previa maduración natural o inducida, se comen directamente (técnicamente son las llamadas bananas).

Las principales variedades cultivadas de bananas son:

- *Cavendish enana*, con dos sub variedades, pequeña y gran enana: Es el fruto canario. Origen chino. Color amarillo oro. Pulpa blanda compacta.
- *Gros Michel*, color verde amarillo. Resiste bien el transporte.
- Lacatán (*Musa acuminata*): El fruto parece como aplastado por el extremo que no está unido a la "mano".
- *Poyo*: variedad tipo enana.
- *Dominico*.
- *Curraré*: Dos sub variedades: rosada y enana.
- Otras variedades e híbridos: *Zelig, Brier, Gruesa, Balangón.*

Fuente: (INFOAGRO, 2000)

La producción de musáceas, se destina básicamente a la exportación. El promedio anual que se vende al exterior es del 80% del total de producción siendo los principales mercados son Argentina, Chile, Suiza y Nueva Zelanda, y se las somete a un control de calidad intensivo, para que llegue a su destino en el estado de madurez adecuado y libre de manchas, suciedad o cicatrices. Estos controles se hacen al momento de corte, del empaje y en el puerto de exportación. (IBCE, 2000).

Cuando la exportación no se cumple en el tiempo estipulado, los racimos son cortados y no se permite que sean aprovechados para exportaciones futuras, quedándose en el campo.

En la etapa de selección y empaque se obtiene un porcentaje de banano que al momento de su inspección, no cumple con las dimensiones de las frutas o condiciones de la cáscara exigidos por las empresas comercializadoras.

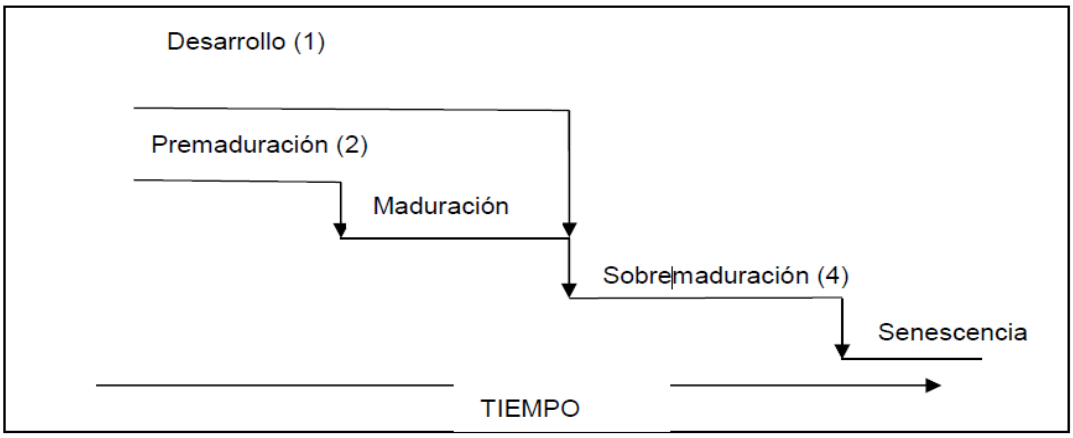
En las terminales portuarias, se realiza el último control de calidad, para desechar la fruta que pudo maltratarse en el transporte desde las plantaciones a la terminal.

Los excedentes que no superan los controles de calidad, son utilizados para el consumo interno en el país, sim embargo al ser distribuidos estos pueden quedar acumulados en la intemperie; los desechos en sí, causando problemas por su inadecuado manejo ya que genera residuos perjudicando al ecosistema. (FLORES, G. M. 2013).

El banano es una fruta a la que no se le permite madurar en el árbol (fruta climatérica), ya que al hacerlo, estaría sujeta a daños causados por los insectos, roedores y otros animales; además la cantidad de componentes seria disminuido por lo que la calidad de la fruta sería inferior que la madurada en la planta. (FLORES, G. M. 2013).

1.5. ETAPAS DEL PERIODO DE VIDA DEL BANANO

FIGURA 1-2. ETAPAS DEL PERIODO DE VIDA DEL BANANO



Fuente: FLORES, G. M. 2013.

1.5.1. ETAPA DE DESARROLLO

Esta etapa inicia con la formación de la parte comestible, es decir, el engrandecimiento del fruto y cesa con la terminación del crecimiento natural, incluye las etapas de pre maduración y maduración.

1.5.2. ETAPA DE PREMADURACIÓN

Es el periodo de máximo engrosamiento y tamaño de la fruta. El plátano no maduro es verde oscuro y las primeras señales visibles del cambio se aprecian en el color de la cáscara (verde claro) y en la consistencia del corazón se ablanda y cambia de un color blanco total a un color blanco ligeramente alterado. El ablandamiento de la pulpa avanza hacia fuera, desde el corazón, y desde la punta hasta el pedúnculo, y se puede percibir al tacto. El verde claro de la cáscara pasa a un verde amarillento pálido, y en este estado toda la pulpa se ha ablandado perceptiblemente. En este periodo el plátano se usa para consumo humano. (FLORES, G. M. 2013).

1.5.3. ETAPA DE MADURACIÓN

Es la etapa de máxima utilidad para el consumo. Aquí, la fruta es de color amarillo intenso, habiendo desaparecido ya toda traza de verde, excepto en el ápice y en el pedúnculo. El ápice verde persiste incluso cuando el fruto ha amarilleado totalmente; a medida que se desaparece el color verde de las puntas, diciéndose de la fruta que está madura para comer, la pulpa en ese estado, es de textura suave y color amarillento. (FLORES, G. M. 2013).

1.5.4. ETAPA DE SOBRE MADURACIÓN

Esta etapa se define como la secuencia de cambio de color, sabor y textura, que conlleva al estado en el cual la fruta es aun aceptable para comer a pesar de que se hayan suscitado dichos cambios. En el caso del plátano, la pulpa pierde el jugo natural y sales del fruto por estar muy impregnadas de agua, y en las cáscaras ocurren alteraciones degenerativas, en su mayor parte causadas por infecciones fúngicas. (FLORES, G. M. 2013).

1.5.5. ETAPA DE SENESCENCIA

En esta etapa el plátano pierde calidad, presenta desordenes fisiológicos y enfermedades inducidas por hongos. En el plátano, las primeras señales de esos cambios consisten en manchas pardas, que finalmente coalescen hasta que la cáscara se torna parda, estado en el cual la pulpa todavía se puede comer. Por último la cáscara adquiere un color pardo. (FLORES, G. M. 2013).

1.6. REQUERIMIENTOS DE CLIMA, SUELO Y SIEMBRA

El plátano se adapta a climas tropicales y sub tropicales húmedos, desde el nivel del mar hasta 1,200 metros sobre el nivel del mar, con una temperatura optima de crecimiento entre 18.5 y 35ºC, a temperaturas menores se retarda el desarrollo fisiológico de la planta, retrasando así la cosecha; existen otros factores climáticos como la luz y el viento, que influyen en el cultivo del plátano.

Los suelos ideales para el cultivo del plátano son los francos (franco arenoso, franco arcilloso-limoso), profundos, fértiles, bien drenados y de topografía plana o casi plana. El

plátano se puede sembrar durante todo el año, siempre y cuando se tenga un adecuado suministro de agua, especialmente en la época seca.

La cosecha inicia entre los 11 y 13 meses después de la siembra, dependiendo de las zonas climáticas y edáficas, tomando como indicadores principales la apariencia del fruto y la fecha de floración.

Al momento de la cosecha, el racimo y los frutos deben presentar un tamaño normal de variedad; la superficie del plátano maduro debe estar casi completamente redondeada, desapareciendo la arista.

En buenas condiciones de vegetación y clima, el intervalo de tiempo que separa la emisión de inflorescencia y el estado normal medio de recolección para el comercio de exportación es de 80 a 95 días. (FLORES, G. M. 2013).

1.7. CUALIDADES DEL BANANO

No podemos dejar de mencionar que este fruto es rico en minerales como potasio (revitaliza los tejidos musculares), calcio que fortifica huesos y dientes, hierro que ayuda al adecuado transporte de oxígeno en la sangre y fosforo que mejora el funcionamiento del sistema óseo y nervioso, además posee vitaminas A, C y el complejo B, que previenen el envejecimiento celular y ayudan a crear defensas contra enfermedades respiratorias, como el resfriado. El banano no engorda, muy al contrario, por su riqueza en potasio ayuda a equilibrar el agua del cuerpo al contrarrestar el sodio y favorecer la eliminación de líquidos, por contener un 75% de agua, hidratos de carbono, fibra y muchas calorías.

La pulpa del banano contiene sustancias con efecto antiséptico, elimina bacterias en el conducto intestinal, suaves aceites que reducen inflamación e irritación de las mucosas. Cuando esta fruta se encuentra madura ayuda a aliviar molestias generadas por gastritis o ulcera, además de que combate el estreñimiento y es eficaz en el tratamiento de colitis y hemorroides.

Por otra parte, las evidencias muestran que cuando está verde es eficaz para controlar la diarrea. (RIVERA, E. N. 2012)

1.8. USOS DEL BANANO

La gran variedad de formas hacen de la banana o el plátano un alimento extremadamente versátil. La forma más frecuente y simple de consumo es como fruta de postre. En trozos se incorpora a ensaladas de fruta, gelatinas, y otros postres, así como a batidos y otras bebidas; se usan también en tortas y biscochos. Cocidas, las bananas se usan en el arroz a la cubana. Con azúcar morena, jugo de limón o vinagre y especias se preparan salsas o mermeladas, a veces muy picantes. Se consumen hervidos, fritos o asados. Como parte de estofados complementan o suplantan a la yuca. (RIVERA, E. N. 2012)

1.9. LEVADURAS

Las levaduras al igual que los mohos, son hongos, pero se distinguen de ellos porque su forma dominante es unicelular generalmente su reproducción es por esporulación, gemación o fisión. El método más común es por gemación o multiplicación celular. (GIRON, G. M. 2013).

La multiplicación celular se produce cuando disponen de suficientes nutrientes para su alimentación.

Las levaduras aparecen casi incoloras en las suspensiones, en grandes concentraciones o prensadas, muestran una coloración blanca o amarilla pardusca. Esto también es aplicado a las levaduras de la industria, además hay algunas tipos de levaduras rojas y negras, de importancia secundaria

Las levaduras no poseen movimiento propio pues carecen de órganos motores (cilios), se multiplican con una velocidad bastante grande. Para un buen crecimiento tienen importancia unas condiciones óptimas de vida, es decir, una temperatura y una alimentación adecuada.

Su importancia es mayor en la actualidad porque se ha utilizado en muchos procesos fermentativos síntesis de muchos materiales, grasas y proteínas a partir de azúcares simples y amoníaco.

Las levaduras se encuentran muy difundidas en la naturaleza y son diseminadas por los insectos y el viento. Varían considerablemente de tamaño entre 1-5 micrómetros de ancho y de 5 a 30 micrómetros o más de largo, generalmente son ovoides si bien algunos son esféricos y otros alargados, cada especie tiene su aspecto característico. Las levaduras no tienen flagelos u otros organélos de locomoción.

Las células viejas de las levaduras con paredes engrosadas, especialmente son resistentes a condiciones poco favorables de calor, luz, desecación y sustancias químicas.

Algunas especies de levaduras almacenan grandes cantidades de grasas, carbohidratos o proteínas; otras especies son fuente de glicógeno, enzimas y vitaminas, para los microorganismos y suplementos alimenticios de humanos y otros animales.

Cuando se desarrollan en medio de cultivos adecuados las colonias de levaduras varían en aspecto, textura y margen. Así algunas son lisas, otras rugosas, aplanadas, otras elevadas; tienen bordes bien definidos o irregulares. Las colonias jóvenes tienen consistencia comparable a la de una pasta; la cual con el tiempo se vuelve más espesa y seca. (GIRON, G. M. 2013).

Como las levaduras son muy importantes en la industria por su capacidad para fermentar u oxidar sustratos y producir sustancias útiles, es conveniente usar la cepa de microorganismos que proporcionan la mayor cosecha. Las levaduras también son capaces de crecer en un amplio margen de temperatura desde 0º a 47ºC, algunos no se desarrollan a más de 15ºC, aunque otros pueden hacerlo a mucho menos temperatura. La óptima para la mayor parte está entre 20 y 30ºC. En general se sostienen que las levaduras se desarrollan mejor en medios con acción ácida.

La levadura se propaga tanto en presencia del aire y en ausencia de él, pero fermenta los azúcares más rápidamente cuando está ausente el aire; puesto que la asimilación es entonces más lenta y la mayor parte del azúcar es convertida en alcohol.

En presencia de aire en exceso, es inhibida la fermentación y se estimula la asimilación; por esta razón no se airea la solución fermentada, una vez que se inicia el proceso de fermentación. (GIRON, G. M. 2013).

Los constituyentes normales de las células referidas a la materia seca de levadura en cantidades porcentuales se presentan en la tabla I-2.

TABLA I-2. CONSTITUYENTES NORMALES REFERIDAS A LA MATERIA SECA DE LEVADURA

Componentes	Porcentaje (%)
Grasas	2.0
Elementos inorgánicos	9.0
Hidratos de carbono	37.0
Sustancias nitrogenadas	50.0

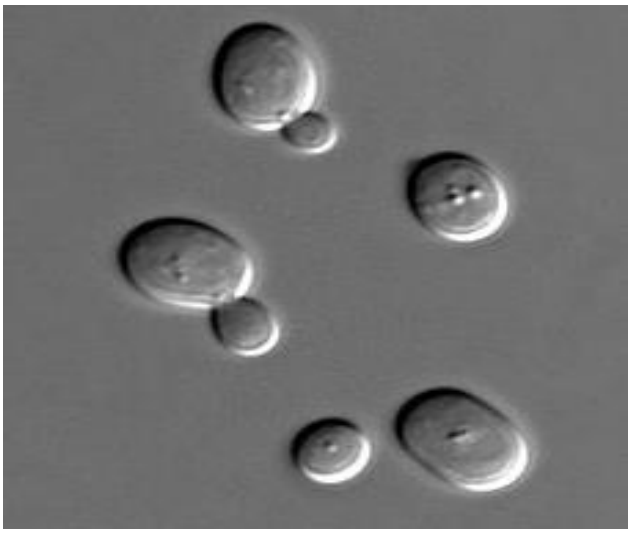
Fuente: FLORES, G. M. 2013.

1.9.1. SACCHAROMYCES CEREVISIAE

La levadura *Saccharomyces cerevisiae* tiende a formar colonias de color crema, blancas y húmedas en solución agar. En cultivos jóvenes las células presentan forma redonda, ovalada o poliforme y un tamaño de 4 a 14 micras de longitud por 3-7 micras de grueso. Forma ascosporas redondas y lisas. Fermentan glucosa, galactosa, sacarosa, maltosa y rafinosa. No utiliza nitratos, y tolera pH: 3.5-5.5. (FLORES, G. M. 2013).

En condiciones normales de observación en el microscopio el núcleo puede ser invisible, el protoplasma en las células jóvenes será de apariencia suave y poco granulado, aumentando su granulación y el tamaño de las vacuolas en las células viejas. Las células muertas presentan generalmente una apariencia más irregular, con el protoplasma rugoso y paredes celulares más gruesas. (FLORES, G. M. 2013).

FIGURA 1-3. IMAGEN DE MICROSCOPIO LEVADURA SACCHAROMYCES CEREVISIAE



Fuente: FLORES, G. M. 2013.

La *Saccharomyces cerevisiae* es la levadura más utilizada para la fermentación de azúcares a etanol; ya que fermenta eficientemente los azúcares de seis carbonos a etanol. Pero en el caso material lignocelulosico, donde además de hexosas, como la glucosa, también se tiene pentosas, como la xilosa, la levadura no puede utilizar estos azúcares de cinco carbonos como fuentes de carbono. (FLORES, G. M. 2013).

TABLA I-3. CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA DE SACCHAROMYCES CEREVISIAE

ESPECIFICACION	**CLASIFICACION**
Clase	*Ascomycetas.*
Sub-clase	*Hemiascomycetidae.*
Orden	*Hendomicetales.*
Familia	*Sacharomycetaceae.*
Sub-familia	*Sacharomycoideae.*
Genero	*Saccharomyces.*

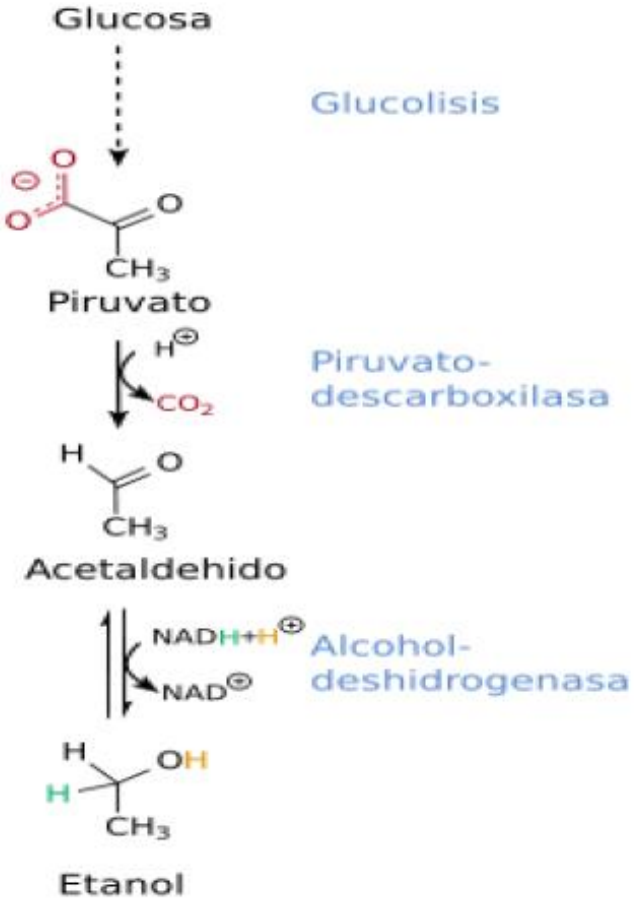
Fuente: FLORES, G. M. 2013.

1.10. ADENOSIN TRI FOSFATO

La fermentación es un proceso catabólico de oxidación incompleta, siendo el producto final un compuesto orgánico. Estos productos finales son los que caracterizan los diversos tipos de fermentaciones. Fue descubierta por Pasteur, que la describió como la vida sin el aire. Por otro lado Otto Heinrich Warburg define la fermentación alcohólica como un proceso biológico de fermentación en plena ausencia de aire, originado por la actividad de algunos microorganismos que procesan los hidratos de carbono, para obtener como productos finales: un alcohol en forma de etanol, dióxido de carbono CO_2 en forma de gas y unas moléculas de ATP (ADENOSIN TRI FOSFATO), nucleótido fundamental en la obtención de energía celular. Es una molécula utilizada por todos los organismos vivos para proporcionar energía en las reacciones químicas. Es la principal fuente de energía para la mayoría de las funciones celulares.

Se produce durante la foto respiración y la respiración celular, y es consumido por muchas enzimas en la catálisis de numerosos procesos químicos. Su fórmula molecular es $C_{10}H_{16}N_5O_{13}P_3$.

FIGURA 1-4. REACCIÓN COMPLETA DE FERMENTACIÓN



Fuente: GARZON, S. 2009.

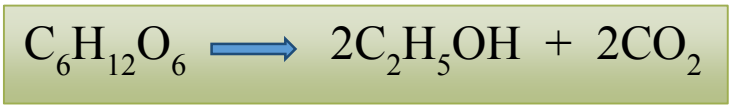
La glucólisis es la primera etapa de la fermentación, lo mismo que en la respiración celular, y al igual que ésta necesita de enzimas para su completo funcionamiento. A pesar de la complejidad de los procesos bioquímicos una forma esquemática de la reacción química de la fermentación alcohólica puede describirse como una glicólisis en la denominada vía Embden-Meyerhof-Parnes. (Figura 1-4). De tal forma que puede verse como participa inicialmente una molécula de hexosa:

$$C_2H_{12}O_6 + 2\ Pi + 2\ ADP \rightarrow 2\ CH_3CH_2OH + 2CO_2 + 2\ ATP$$

1.11. FERMENTACIÓN

La fermentación es la conversión de los azúcares en alcohol por la acción de microrganismos (levaduras), bajo condiciones controladas. La mezcla del mosto y la levadura dan inicio a la fermentación.

FIGURA 1-5. REACCIÓN DE FERMENTACIÓN



La fermentación alcohólica denominada también como fermentación del etanol o incluso fermentación etílica es un proceso biológico de fermentación en plena ausencia de aire - oxígeno, originado por la actividad de algunos microorganismos que procesan los hidratos de carbono por regla general azúcares: como pueden ser por ejemplo la glucosa, la fructosa, la sacarosa y el almidón. Para obtener como productos finales: un alcohol en forma de etanol (CH_3-CH_2-OH), dióxido de carbono (CO_2) en forma de gas y unas moléculas de adenosin tri fosfato (ATP) que consumen los propios microorganismos en su metabolismo celular energético anaeróbico. El etanol resultante se emplea en la elaboración de algunas bebidas alcohólicas, tales como el vino, la cerveza, la sidra, el cava, etc. Aunque en la actualidad se empieza a sintetizar también etanol mediante la fermentación a nivel industrial a gran escala para ser empleado como biocombustible. (GARZON, S. 2009).

1.11.1. TIPOS DE FERMENTACIÓN

1.11.1.1. Fermentación industrial

La fermentación etílica ha sufrido algunas transformaciones con el objeto de aumentar la eficiencia química del proceso, una de las mejoras más estudiadas en la industria es la posibilidad de realizar la fermentación alcohólica continua con el objeto de obtener mayores cantidades de etanol. (GIRON, G. M. 2013)

Hoy en día el procesamiento industrial de algunas bebidas alcohólicas como puede ser el vino o la cerveza se realizan en ambientes controlados capaces de ofrecer a un ritmo apropiado de estos productos de consumo al mercado. Esta vía ofrece una amplia materia de investigación en temas de eficiencia de bioreactores, empleando para ello teoría de sistemas de control. Otra vía de investigación acerca de la mejora de los procesos industriales es la mejora de las cepas de levaduras como puede ser la *Zymomonas mobilis* que ofrece ventajas en los procesos continuos de fermentación, permitiendo la convivencia de una mayor densidad de las mismas durante la producción.

Una de las características de la fermentación etílica industrial es la selección adecuada de las levaduras a inocular en el proceso de fermentación con el objeto de aumentar el rendimiento de la producción.

1.11.1.2. Fermentación industrial típica

Es esencialmente un proceso que se produce en un recipiente llamado fermentador o en general, biorreactor, mediante el cual determinados sustratos que componen el medio de cultivo (levaduras) son transformadas mediante la reacción microbiana de levaduras en metabolitos y biomasa. Durante el proceso los microorganismos van aumentando de concentración en el transcurso de la reacción al mismo tiempo que el medio va modificando sus propiedades químicas y se forman productos nuevos como consecuencia de las reacciones anabólicas. (GIRON, G. M. 2013).

1.11.1.3. Fermentaciones naturales

La fermentación alcohólica con la emisión de ciertas cantidades de etanol se produce de forma espontánea en la naturaleza siempre que se encuentre un azúcar y una atmósfera pobre de oxígeno. Por esta razón que ocurre espontáneamente en el interior de algunas frutas que se puede decir sufren un proceso de maduración anaeróbica. (GIRON, G. M. 2013).

1.11.1.4. Fermentaciones específicas

Las fermentaciones específicas son manipuladas por el hombre con el objeto de obtener el etanol en ciertas bebidas. Para ello se emplean principalmente los azúcares de las frutas, cereales y leche. La producción de estas bebidas es en la mayoría de los casos local debido a la disponibilidad de los substratos. (GIRON, G. M. 2013).

1.12. FACTORES AMBIENTALES QUE AFECTAN EL PROCESO DE FERMENTACIÓN

Todos los procesos fermentativos dependen de las condiciones ambientales a que se somete el microorganismo en presencia del sustrato, entre estas condiciones están:

- Concentración del azúcar.
- Control del pH del medio.
- Aireación.
- Control de temperatura.
- Formación de espuma.
- Contaminación.

1.12.1. CONCENTRACION DE AZUCAR

Es sistema típico donde la concentración de la sustancia convertible se reduce gradualmente desde un valor inicial alto hasta un mínimo. La mitad de los azúcares totales fermenta en 8-10 horas durante el período principal de fermentación de un proceso que dura de 8 a 10 días. El ajuste del pH del sustrato a un valor óptimo inicial antes de la inoculación de los microorganismos es una parte de la preparación del sustrato. El pH inicial óptimo depende de la especie de organismo usado, de la reacción deseada y de las condiciones del proceso. (GIRON, G. M. 2013).

1.12.2. AIREACIÓN

En muchos procesos y si es aeróbico es conveniente la presencia del aire, en especial durante la fase de incubación, cuando el organismo prolifera rápidamente. Las levaduras crecen bien bajo condiciones aeróbicas. (GIRON, G. M. 2013).

1.12.3. CONTROL DE TEMPERATURA

La temperatura inicial óptima depende de factores análogos a los que controlan el pH. Aunque la mayoría de microorganismos toleran intervalos amplios de temperatura. Las levaduras no toleran temperaturas mayores de 45 ºC y la *Saccharomyces cerevisiae* empieza a reproducirse a los 25 ºC. (GIRON, G. M. 2013).

1.12.4. FORMACIÓN DE ESPUMA

Durante el proceso fermentativo el caldo de cultivo tiende a formar espuma, debido al movimiento acelerado de agitación y al exceso de aire propagado en el sustrato, forma espuma compuesta de caldo y levadura, quedando adherida en las paredes del fermentador.

1.12.5. CONTAMINACIÓN

Algunos procesos microbianos fermentativos no pueden realizarse con éxito, debido a contaminación causada por la presencia de microorganismos como bacterias, degeneración de los microorganismos y las diferencias en los valores óptimos del pH. (GIRON, G. M. 2013).

1.13. CONDICIONES FAVORABLES PARA LA FERMENTACIÓN

Para que la fermentación alcohólica se produzca de manera favorable son necesarias varias condiciones, comprendidas en 3 formas:

- Condiciones biológicas: levaduras, su selección, desarrollo y acción.
- Condiciones físicas: temperatura.
- Condiciones químicas: ácidos, oxigeno, sustancias y procesos químicos.

(GIRON, G. M. 2013).

1.13.1. CONDICIONES BIOLÓGICAS

Muchos son los tipos de levaduras que intervienen, variando según las regiones. Igualmente, pueden adicionarse otras levaduras activadas previamente cultivadas y seleccionadas.

Las levaduras más importantes para la elaboración de etanol son las comprendidas dentro del género Saccharomyces. En este caso la levadura *Saccharomyces cerevisiae*, que con los nutrientes necesarios; tienden a multiplicarse convirtiendo los azúcares del mosto de banano en etanol y dióxido de carbono. (RIVERA, E. N. 2012).

1.13.2. CONDICIONES FÍSICAS

La temperatura es un factor de influencia decisiva para las actividades de las levaduras. La temperatura más adecuada para la reproducción de las levaduras y la fermentación oscilan desde 30-33ºC inclusive es adecuado hasta los 35ºC.

A temperaturas inferiores de 3ºC no es posible el desarrollo de las levaduras ni su actividad fermentativa, sin embargo se mantienen con vida, aunque no realizan ni una actividad. (RIVERA, E. N. 2012).

1.13.3. CONDICIONES QUÍMICAS

La formación de etanol y el desplazamiento del aire por medio de dióxido de carbono que se está formando impiden el desarrollo de los hongos y bacterias, con predominio de las

levaduras. Esta lucha se fomenta considerablemente sometiendo el mosto reciente a un pretratamiento que elimine el oxígeno necesario para el desarrollo de los microorganismos aerobios.

Con relación al pH, las levaduras toleran amplios rangos de pH, pudiendo permanecer por cortos periodos en pH menores a 2, por lo cual, la mayoría de los otros microorganismos son sensibles. En el caso de la levadura que se utiliza estas resisten un pH de 3.5-5.5. (RIVERA, E. N. 2012).

Una inadecuada regulación de pH del mosto, posibilitaría el crecimiento de microorganismos indeseables, tal es el caso de las bacterias que perjudicarían bastante la fermentación.

La fermentación alcohólica tiene como finalidad biológica proporcionar energía anaeróbica a los microorganismos unicelulares, para ello disocian las moléculas de glucosa y obtienen la energía necesaria para sobrevivir, produciendo el alcohol y CO_2, como desechos a consecuencia de la fermentación. Las levaduras y bacterias causantes de este fenómeno son microorganismos muy habituales en las frutas y cereales y contribuyen en gran medida al sabor de los productos fermentados. Una de las principales características de estos microorganismos es que viven en ambientes completamente carentes de oxígeno, máxima durante la reacción química, por esta razón se dice que la fermentación alcohólica es un proceso anaeróbico. (RIVERA, E. N. 2012).

Tanto la fermentación anaeróbica y aeróbicas tienen ambas el mismo fin, la provisión de energía de los microorganismos causantes del fenómeno.

La fermentación es un proceso conocido desde la antigüedad y algunas de ellas constituyen hoy en día una de las ramas de producción más importantes en la industria. Existen dos tipos de fermentación: fermentación anoxidativa en la cual no hay intervención del oxígeno en el proceso y fermentación oxidativa en la cual el oxígeno está presente.

Todos los procesos fermentativos dependen de las condiciones ambientales a que se somete el microorganismo en presencia del sustrato, entre estas condiciones están: Concentración del azúcar, aireación, control de temperatura, formación de espuma.

La fermentación alcohólica se produce por regla general antes que la fermentación maloláctica, aunque existen procesos de fermentación específicos en los que ambas fermentaciones tienen lugar al mismo tiempo. La presencia de azúcares asimilables superiores a una concentración sobre los 0.16 g/l produce invariablemente la formación de alcohol etílico en proceso de crecimiento de *Saccharomyces cerevisiae* (levadura), incluso en presencia de exceso de oxígeno (aeróbico), este efecto es tenido en cuenta a la hora de estudiar y tratar de modificar la producción de etanol durante la fermentación.

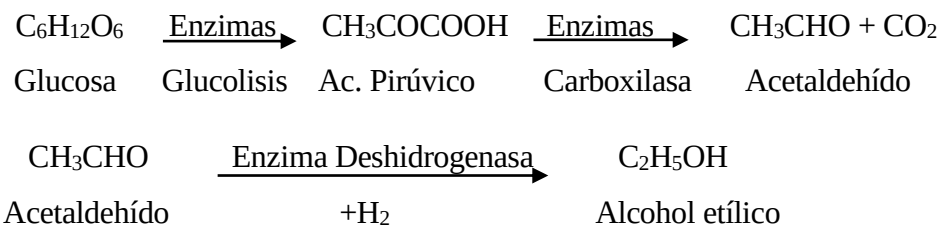
Se debe considerar que el etanol va aumentando de concentración durante el proceso de fermentación y debido a que es un compuesto tóxico, cuando su concentración alcanza aproximadamente un 12% de volumen las levaduras tienden a morir. Esta es una de las razones fundamentales por las que las bebidas alcohólicas no destiladas no alcanzan valores superiores a los 20% de concentración de etanol. (RIVERA, E. N. 2012).

1.14. ETAPAS DE FERMENTACIÓN

En el transcurso de la fermentación alcohólica se deben distinguir las siguientes seis etapas de reacción:

- Fosforilación, consisten en la esterificación de los azúcares fermentecibles en éster del ácido hexosadifosforico.
- Escisión de las hexosas en dos moléculas de éster del ácido trisafosforico
- Oxidoreduccion por formación de éster del ácido glicerofosforico y de éster del ácido fosfoglicerico.
- Desfosforilacin, al quedar libre el ácido fosfórico bajo la acción de la enzima enolasa, se forma el ácido pirúvico.
- Descarboxilacion, durante la cual se descompone el ácido pirúvico dejando en libertad dióxido de carbono y formándose acetaldehído.

- Reducción del acetaldehído en alcohol etílico.
- Finalizando el proceso de fermentación alcohólica, las levaduras suprimen todas sus actividades. En esta fase de reposo están mejor alimentadas que en las demás etapas de su vida, disponiendo de grandes reservas de materias tales como proteínas y grasas, que han ido almacenando.
- La mayoría de los autores coinciden en que la primera fermentación se realiza en condiciones normales, y de manera regular y espontanea en los mostos de frutas. El proceso de descomposición de la glucosa fue establecido de la siguiente forma:



Fuente: RIVERA, E. N. 2012.

1.15. FACTORES PRINCIPALES PARA LA OBTENCIÓN DE ETANOL DE BANANO MADURO

1.15.1. CONCENTRACIÓN DE AZÚCAR

Se emplea con frecuencia una concentración media del 12% de azúcar, alcanzado esta concentración las levaduras tienden a morir. Si el mosto es demasiado concentrado, el alcohol que se produce puede inhibir la acción de la levadura, lo que tiene como consecuencia que se prolongue el tiempo de fermentación y que parte del azúcar no sea utilizada, es decir; si tenemos una mayor concentración de azúcares en la solución, los días de fermentación se puede extender, además, cabe la posibilidad de que queden azúcares fermentecibles sin consumirse. (GIRON, G. M. 2013).

1.15.2. AIREACIÓN

Es importante mencionar que el punto de la aeración en la que fermentación alcohólica se refiere únicamente a la reproducción de las levaduras. Las levaduras necesitan oxígeno

para multiplicarse, especialmente en la etapa de latencia cuando la levadura empieza a adaptarse. En ausencia de aire en un mosto, se detiene su reproducción. (GIRON, G. M. 2013).

1.15.3. CONTROL DE TEMPERATURA

En la fermentación, la reacción es exotérmica, es decir, que se desarrolla calor. Se debe tener control de la temperatura, ya que juega un papel importante en la reproducción de las levaduras. La temperatura óptima del desarrollo de la fermentación es de 30 a 33ºC. (GIRON, G. M. 2013).

1.15.4. TIEMPO

Se puede decir que el tiempo de fermentación se mide por medio de la determinación de los grados Brix que debe ser bajo y constante. El tiempo en que ocurre esto es de alrededor de 8 días.

Con un tiempo menor la fermentación es incompleta y se desperdicia una considerable cantidad de alcohol, porque en el mosto de banano queda todavía azúcar fermentable.

Así mismo, el tiempo excesivo produce la pérdida de alcohol. (GIRON, G. M. 2013).

1.15.5. CONTROL DE pH

Es una variable que se controla con la finalidad de saber cuándo se obtiene un medio con el potencial de hidrogeno propicio para que las levaduras desarrollen su capacidad fermentativa. Es un factor muy importante, debido a que éste contribuye en el control de la contaminación bacterial, efecto del crecimiento de las levaduras, velocidad de fermentación y formación de alcohol. (GIRON, G. M. 2013).

1.16. MATERIAS PRIMAS Y SU IMPORTANCIA PARA EL PROCESO FERMENTATIVO

El etanol se puede producir a partir de 3 principales tipos de materias primas:

1.16.1. MATERIAS RICAS EN SACAROSA

Como la caña de azúcar, banano, la melaza y el sorgo dulce.

1.16.2. MATERIAS RICAS EN ALMIDÓN

Como los cereales: maíz, trigo, cebada, etc., y los tubérculos: yuca, camote, papa, etc.

1.16.3. MATERIAS RICAS EN CELULOSA

Como la madera y los residuos agrícolas. (LIJERON, J. C. 2008).

1.16.4. CINETICA DE FERMENTACION

En la cinética de fermentación se describe el crecimiento y formación de un producto por microorganismos, no solo el crecimiento celular activo si no también la muerte de las células, ya que muchos productos de la fermentación son de interés comercial producido tras el crecimiento que ha tenido.

Las levaduras son los microorganismos más utilizados para producción de etanol por la vía fermentativa, debido a su alta productividad en la conversión de azúcares a bioetanol y que se separan mejor después de la fermentación. Además, la producción de toxina es muy inferior a la de otro microorganismo. Entre las especies más utilizadas están: *Saccharomyces cerevisiae, S. ellipsoideus*, *S. anamensisi, Candida seudotropicalis*, *S.carlsbergensis, Kluyveromyces marxiamus, Candida bytyrii*, *Pichia stipatis*, *Schizosaccharomyces.*

Se entiende por crecimiento microbiano el aumento del número de microorganismos a lo largo del tiempo. Por tanto, no nos referimos al crecimiento de un único microorganismo que denominaremos ciclo celular, sino al demográfico de una población. En este tema nos centraremos en el crecimiento de bacterias, el estudio que se hace puede servir también para entender el crecimiento de levaduras y de otros hongos.

Las poblaciones de bacterias crecen de forma explosiva acumulando grandes números en un período de tiempo muy reducido. Puesto que el efecto de los microorganismos es en

la mayoría de los casos depende de su número, entender cómo se produce el crecimiento microbiano es importante para poder evitar o reducir sus efectos nocivos y potenciar los beneficiosos o aplicados. (LEVEAU, Y. J., BOUIX, M. 2000).

1.16.4.1. Crecimiento microbiano

Si la bacteria crece en un medio líquido, en la mayoría de los casos las células que se producen en cada división continúan su vida independientemente formándose una suspensión de células libres. En un cultivo discontinuo de bacterias en medio líquido, se pueden diferenciar cuatro fases de evolución de los parámetros que miden el crecimiento microbiano:

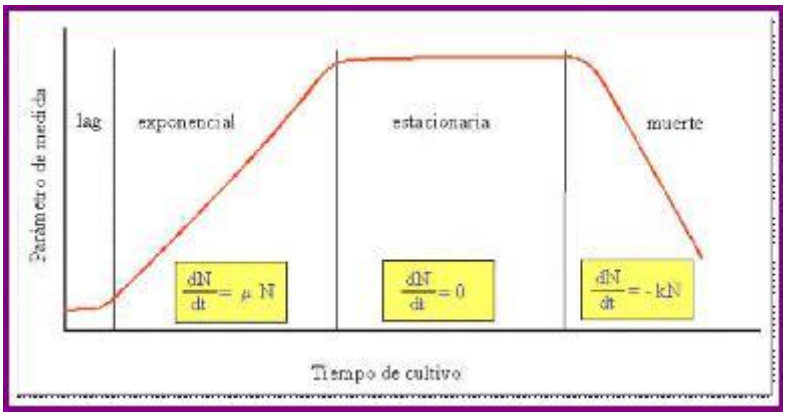
1.- Fase logarítmica o de adaptación: durante la cual los microorganismos adaptan su metabolismo a las nuevas condiciones ambientales: abundancia de nutrientes y condiciones de cultivo para iniciar la fase de crecimiento exponencial.

2.- Fase exponencial o logarítmica: en ella la velocidad de crecimiento es máxima y el tiempo de generación es mínimo. Durante esta fase las bacterias consumen a velocidad máxima los nutrientes del medio.

3.- Fase estacionaria: en ella no se incrementan el número de bacterias (ni la masa u otros parámetros del cultivo). Las células en fase estacionaria desarrollan un metabolismo diferente al de la fase exponencial y durante ella se produce una acumulación y liberación de metabolitos secundarios que pueden tener importancia industrial. Los microorganismos entran en fase estacionaria porque se agota algún nutriente esencial del medio o porque los productos de desecho que han liberado durante la fase exponencial hacen que el medio sea inhóspito para el crecimiento microbiano. La fase estacionaria tiene gran importancia porque probablemente represente con mayor fidelidad el estado metabólico real de los microorganismos en los ambientes naturales.

4.- Fase de muerte: se produce una reducción del número de bacterias viables del cultivo. (LEVEAU, Y. J., BOUIX, M. 2000).

FIGURA 1-6. CRECIMIENTO MICROBIANO



Fuente: LEVEAU, Y. J., BOUIX, M. 2000.

1.17. DESTILACIÓN

Existen sustancias líquidas que se encuentran contaminadas con impurezas aunque en pequeña cantidad, éstas pueden ser eliminadas por algún tipo de purificación por ejemplo la destilación. Se dice entonces que se efectúa una purificación.

La destilación es una de las principales técnicas para separar mezclas de líquidos. La separación se fundamenta en la diferencia de la presión de vapor de los diferentes componentes de la mezcla. Al calentar la mezcla los componentes se evaporan para condensarse posteriormente y durante el proceso el vapor se enriquece con los componentes más volátiles. (HERNANDEZ, D. C. 2006)

1.17.1. DESTILACION SIMPLE

La destilación simple es una operación donde los vapores producidos son inmediatamente canalizados hacia un condensador, el cual los enfría (condensa) de modo que el destilado no resulta puro. Su composición será diferente a la composición de los vapores a la presión y temperatura del separador y pueden ser calculadas por la ley de Raoult. En esta operación se pueden separar sustancias con una diferencia entre 100 y 200 °C, ya que si esta diferencia es menor, se corre el riesgo de crear azeótropos. Al momento de efectuar una destilación simple se debe recordar colocar la entrada de agua por la parte de arriba

del refrigerante para que de esta manera se llene por completo. También se utiliza para separar un sólido disuelto en un líquido o 2 líquidos que tengan una diferencia mayor de 50 °C en el punto de ebullición. (HERNANDEZ, D. C. 2006)

1.18. ALCOHOLES

Los alcoholes son derivados de hidrocarburos, moléculas formadas por carbono e hidrógeno y se caracterizan por tener un grupo oxidrilo (OH) unido a uno de los átomos de carbono en sus moléculas.

La mayoría de los alcoholes de bajo peso molecular son los de mayor importancia comercial. Son usados como solventes en la preparación de pinturas, anticongelantes, productos farmacéuticos y otros compuestos.

En la gran familia de los alcoholes se encuentran el "etanol" y el "metanol" dos compuestos que mezclados con nafta se están implementando como combustible. (HERNANDEZ, D. C. 2006)

1.18.1. ETANOL

Fórmula química del etanol: CH_3CH_2OH, peso molecular 46.07. Los alcoholes simples de bajo peso molecular como el etanol son incoloros, volátiles, líquidos, inflamables y solubles en agua. Cuando el peso molecular crece, el punto de ebullición, el punto de fusión y la viscosidad crecen y la solubilidad en agua decrece. Estas propiedades físicas pueden ser alteradas por la presencia de otro grupo funcional (es un átomo o grupo de átomos unidos entre sí y al resto de las moléculas de una determinada manera estructural).

1.18.1.1. Propiedades fisicoquímicas del etanol

Es un líquido incoloro totalmente miscible con el agua, buen disolvente e inflamable, de bajo peso molecular (46.07), incoloros volátiles, posee un olor característico y produce una sensación de quemadura en la lengua. Se caracteriza por tener un grupo hidroxilo unido a uno de los átomos de carbono de sus moléculas. (HERNANDEZ, D. C. 2006)

Usos generales del alcohol:

- Es usado en bebidas alcohólicas.
- Se utiliza como desinfectante.
- Solvente en numerosas sustancias.
- Actualmente su uso como combustible por su alto octanaje.

En la tabla I-4 se muestran las propiedades fisicoquímicas del etanol, parámetros y sus calores respectivos.

TABLA I-4. PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DEL ETANOL

Parámetro	**Valor**
Estado físico a 15ºC y 1 atm	Liquido
Peso molecular	46.07
Punto de ebullición a 1 atm	78.3ºC
Punto de congelación	-114ºC
Temperatura critica	243.1ºC
Presión critica	63 atm
Viscosidad (20º)	0.0141 poise
Punto de inflamación	14ºC
Índice de refracción	1.3651
Concentración	96%

Fuente: HERNANDEZ, D. C. 2006**.**

CAPÍTULO II

PARTE EXPERIMENTAL

CAPÍTULO II
PARTE EXPERIMENTAL

2.1. PARTE EXPERIMENTAL DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

La parte experimental del presente trabajo de investigación aplicada fue desarrollada en las instalaciones del Laboratorio de Operaciones Unitarias (LOU), dependiente del Departamento de Procesos Industriales Biotecnológicos y Ambientales (DPIBA) de la Facultad de Ciencias y Tecnología de la Universidad Autónoma "Juan Misael Saracho" (UAJMS).

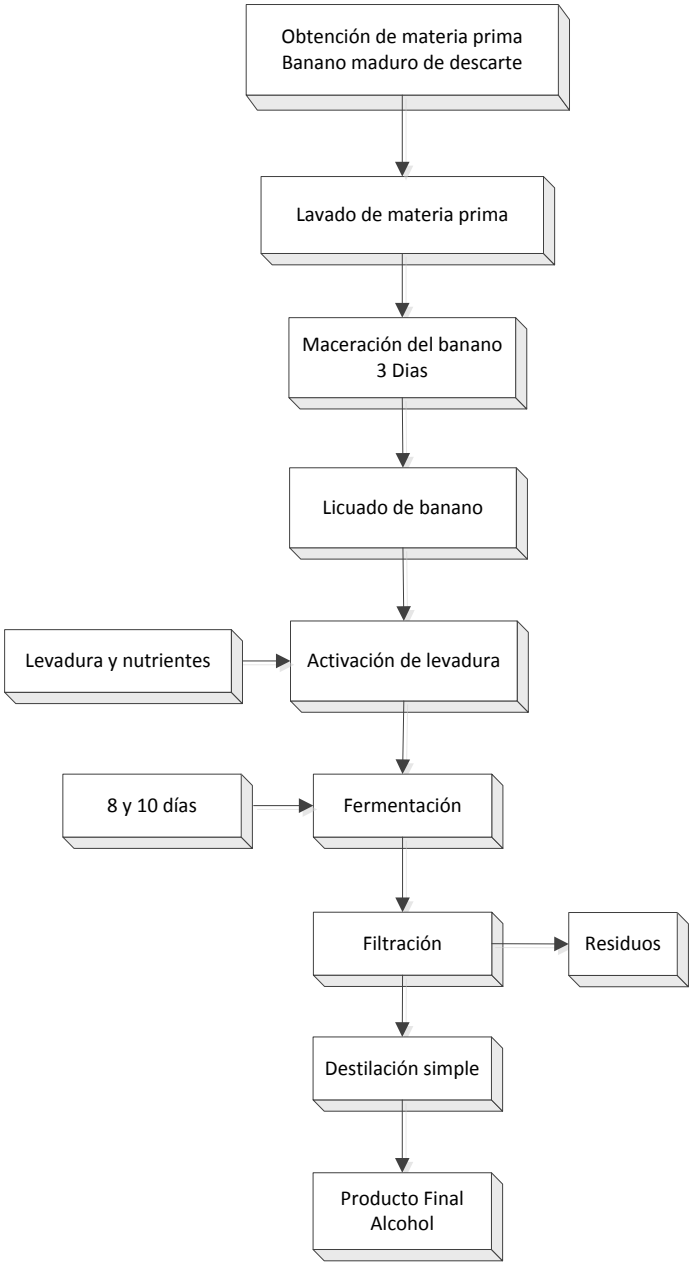
El banano maduro es provisto por un distribuidor que las adquiere al por mayor en Cochabamba, las distribuye en Tarija, de ahí que se generan cantidades considerables de banano maduro de descarte. De ahí que se las recolectan para un mejor aprovechamiento y para el presente trabajo de grado.

El fruto contiene las propiedades que la caracterizan, con mayor concentración de grados Brix requeridos para una buena fermentación, controlando la temperatura, el pH y el tiempo que dura la fermentación para la producción de alcohol.

2.2. OBTENCIÓN DE ALCOHOL A PARTIR DE BANANO MADURO DE DESCARTE

La figura 2-1 muestra cada una de las etapas seguidas en el proceso para la obtención de alcohol a partir de banano maduro de descarte.

FIGURA 2-1. DIAGRAMA DE BLOQUES DE LA OBTENCIÓN DE ALCOHOL A PARTIR DE BANANO MADURO DE DESCARTE



Fuente: Elaboración propia, 2016.

2.3. DESCRIPCIÓN DE MATERIA PRIMA

En el presente trabajo se utiliza como materia prima banano maduro de descarte para la obtención de alcohol, recolectado en el lugar de expendio al por mayor, de ahí que se generan cantidades considerables del mismo.

El banano se encuentra en su mayor grado de madurez, como se puede observar en la Figura 2-2, dañados en su mayoría, tanto la pulpa como la cáscara, se encuentra bananos partidos e incompletos y cuentan con parte del tallo.

2.4. PROCESO DE OBTENCIÓN DE ALCOHOL A PARTIR DE BANANO MADURO DE DESCARTE

2.4.1. OBTENCIÓN DE MATERIA PRIMA

El banano se encontró con el mayor grado de madurez de acuerdo a la figura 1-1. (Grado de madurez del banano), con grados Brix de 13-16.

La recolección de materia prima se realiza en el lugar de expendio al por mayor por el distribuidor (Juan Márquez), de ahí que se generan desechos de considerable cantidad.

FIGURA 2-2. DESECHOS DE BANANO



Fuente: Elaboración propia, 2016.

2.4.2. LAVADO DE MATERIA PRIMA

El lavado de la fruta se realiza con abundante agua con el fin de retirar cualquier impureza propia del banano o del lugar de origen, además de quitar la suciedad que de por si le proporciona el lugar en el que se descarga.

FIGURA 2-3. LAVADO DE BANANO



Fuente: Elaboración propia, 2016.

2.4.3. MACERACIÓN DEL BANANO

Se macera el banano entero con el fin de poder obtener una mayor concentración de azúcar en los jugos generados por el fruto, como se puede observar en la figura 2-3., para luego pasar al licuado que es el siguiente proceso, donde se utilizarán los mismos jugos como medio para realizar el licuado del banano. La maceración dura 3 días a temperatura ambiente.

2.4.4. LICUADO DE BANANO

Se realiza con los mismos jugos generados en la maceración del banano en un recipiente, los jugos son capaces de licuar la cantidad de 2.5 Kg que es la cantidad que se utiliza para la obtención de alcohol en el trabajo de investigación.

Se licua para conseguir una mayor área de contacto de las levaduras con los azúcares del fruto, se ayuda a las levaduras de poder alcanzar los azúcares que están tanto en la cáscara como en la pulpa, garantizando así una mejor actividad de la levadura al momento de fermentar.

2.4.5. ACTIVACIÓN DE LEVADURA

Con el objetivo de activar y multiplicar los microorganismos que intervienen en el proceso; se disuelve 62,5 g de levadura: *Saccharomyces cerevisiae* en 0,5 litros de agua por 30 min. Como las levaduras necesitan nutrientes para un mejor crecimiento se adiciona 1 g de urea y 1 ml de H_3PO_4, se ajusta la temperatura 30-33 ºC utilizando baño maría, también se ajusta el pH de 3.5-5.5 con NaOH. Tomando en cuenta estos parámetros los microorganismos darán los resultados que esperamos, convirtiendo los azúcares en alcohol que es el objetivo principal.

2.4.6. FERMENTACIÓN

Vertimos el mosto de banano en el recipiente de fermentación, proceso que es completamente anaerobio. Para luego ser inoculado con la levadura previamente preparada, para una completa homogenización se procede a agitar la mezcla durante 30 min, la fermentación dura 8 y 10 días de acuerdo al diseño experimental, al ser varios días, se realizan dos fermentaciones simultaneas; monitoreando el proceso mediante la determinación de los grados Brix. Las mediciones se realizan 2 veces al día a las 8 am y 2 pm, parámetro controlado para conocer si la conversión de azúcares en alcohol es efectiva. Las mediciones deben alcanzar 4-5ºBrix, estos datos nos indican que ya no existen más azúcares que fermentar, entonces recién procedemos a la filtración que es el siguiente paso.

FIGURA 2-4. FERMENTACIÓN



Fuente: Elaboración propia, 2016.

2.4.7. FILTRACIÓN

Para evitar que queden partículas suspendidas en los jugos que se utilizan en la destilación, se procede a filtrar, esto se realiza con una tela llamada boal, la misma es eficiente para realizar dicha filtración. Es mejor tener los jugos libres de cualquier partícula para una mejor destilación.

2.4.8. DESTILACIÓN SIMPLE

La destilación se utiliza para separar un componente de otro en este caso, separa el alcohol del cultivo de fermentación, se trabaja a 2 temperaturas 75 y 80ºC en un tiempo de 2 y 3 horas, transcurrido ese tiempo se mide la cantidad de destilado y la concentración de alcohol que tiene (ºGL).

En la figura 2-5 se observa el proceso de destilación simple del jugo de banano y en la figura 2-6 la medición del grado alcohólico (ºGL) del alcohol obtenido en el proceso utilizando un alcoholímetro.

FIGURA 2-5. DESTILACIÓN SIMPLE



Fuente: elaboración propia, 2016.

FIGURA 2-6. GRADOS GAY LUSSAC DE ALCOHOL DE BANANO



Fuente: Elaboración propia, 2016.

2.5. DISEÑO FACTORIAL

El diseño factorial, como estructura de investigación, es la combinación de dos o más diseños simples (o unifactoriales); es decir, el diseño factorial requiere la multiplicación simultánea de dos o más variables independientes (llamados factores), en un mismo experimento.

Un diseño factorial con dos factores consiste en experimentar con todos los tratamientos que se obtienen al combinar cada nivel de un factor con los niveles del otro. (FERRÉ, J. 2003)

2.5.1. PARÁMETROS PARA LA OBTENCIÓN DE ALCOHOL A PARTIR DE BANANO MADURO DE DESCARTE EN LA FERMENTACIÓN

En el proceso de obtención de alcohol, los factores que predominan son:

- Concentración de azúcar inicial (Grados Brix inicial).
- Tiempo de fermentación.

El diseño factorial es de 2 niveles y dos variables para poder determinar la implicancia de las mismas en el proceso de obtención.

TABLA II-1. PARÁMETROS PARA LA OBTENCIÓN DE ALCOHOL A PARTIR DE BANANO MADURO EN LA FERMENTACIÓN

Parámetros	Nivel alto (Máximo)	Nivel bajo (Mínimo)
Concentración de azúcar inicial	16	13
Tiempo de fermentación	10	8

Fuente: Elaboración Propia, 2016.

Con estas variables como punto de partida se realiza el posible diseño factorial:

$$2^k$$

Donde, 2 son los niveles y *k* las variables.

Número de variables = 2 Niveles = 2

Número de experimentos:

$$\text{Número de experimentos: } 2^2 = 4$$

Se realizarán 2 réplicas del experimento

$$\text{Número de experimentos: } 4 * 2 = 8 \textit{ experimentos}$$

Alto= es el valor alto con el que se trabaja (+)

Bajo = es el valor pequeño con el que se trabaja (-)

TABLA II-2. NIVELES DE LAS VARIABLES PARA LA FERMENTACIÓN

Nivel	Concentración de azúcar	Tiempo de fermentación
Superior	16	10
Inferior	13	8

Fuente: Elaboración Propia, 2016.

En la tabla II-3 se muestran las combinaciones de las variables en sus 2 niveles a realizar para cada una de las muestras.

TABLA II-3. COMBINACIÓN DE LAS VARIABLES DE FERMENTACIÓN

N° pruebas	C_{ij}	T_{ij}	Respuesta ºBrix Final
1	-1	-1	$C_{11}T_{11}$
2	+1	-1	$C_{21}T_{11}$
3	-1	+1	$C_{11}T_{21}$
4	+1	+1	$C_{21}T_{21}$
5	-1	-1	$C_{12}T_{12}$
6	+1	-1	$C_{22}T_{12}$
7	-1	+1	$C_{12}T_{22}$
8	+1	+1	$C_{22}T_{22}$

Fuente: Elaboración Propia, 2016.

Dónde:

i = Nivel

j = repetición

C = concentración de azúcar inicial

T = tiempo de fermentación

BF = Brix final (ºBF), variable respuesta

2.5.2. PARÁMETROS PARA LA OBTENCIÓN DE ALCOHOL A PARTIR DE BANANO MADURO DE DESCARTE EN LA DESTILACIÓN

En el proceso de destilación para obtener etanol, los factores que predominan son:

- Tiempo de destilación.
- Temperatura de destilación.

El diseño factorial considera 2 niveles y dos variables para poder determinar la implicancia de las mismas en el proceso de obtención.

TABLA II-4. PARÁMETROS PARA LA OBTENCIÓN DE ALCOHOL A PARTIR DE BANANO MADURO EN LA DESTILACIÓN

Parámetros	Nivel alto (Máximo)	Nivel bajo (Mínimo)
Tiempo de destilación	3	2
Temperatura de destilación	80	75

Fuente: Elaboración Propia, 2016.

Con estas variables como punto de partida se realiza el posible diseño factorial:

$$2^k$$

Donde, 2 son los niveles y *k* las variables.

Numero de variables = 2 Niveles = 2

Numero de experimentos:

Numero de experimentos: $2^2 = 4$

Se realizaran 2 réplicas del experimento

Numero de experimentos: 4 * 2 = 8 *experimentos*

Alto= es el valor alto con el que se trabaja (+)

Bajo = es el valor pequeño con el que se trabaja (-)

TABLA II-5. NIVELES DE LAS VARIABLES PARA LA FERMENTACIÓN

Nivel	Tiempo de destilación (T)	Temperatura de destilación (TEM)
Superior	3	80
Inferior	2	75

Fuente: Elaboración Propia, 2016.

En la tabla II-6 se muestran las combinaciones de las variables de 2 niveles a realizar para cada una de las muestras.

TABLA II-6. COMBINACIÓN DE LAS VARIABLES DE DESTILACIÓN

N° pruebas	T_{ij}	TEM_{ij}	Respuesta ºGL
1	-1	-1	$T_{11}TEM_{11}$
2	+1	-1	$T_{21}TEM_{11}$
3	-1	+1	$T_{11}TEM_{21}$
4	+1	+1	$T_{21}TEM_{21}$
5	-1	-1	$T_{12}TEM_{12}$
6	+1	-1	$T_{22}TEM_{12}$
7	-1	+1	$T_{12}TEM_{22}$
8	+1	+1	$T_{22}TEM_{22}$

Fuente: Elaboración Propia, 2016.

Dónde:

i = Nivel

j = Repetición

T = Tiempo de destilación

TEM = Temperatura de destilación

ºGL= Grado Gay Lussac (variable respuesta)

2.6. DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS UTILIZADOS EN LA OBTENCIÓN DE ALCOHOL

2.6.1. EQUIPO DE DESTILACIÓN SIMPLE

El equipo de destilación a utilizar en este proceso de obtención de alcohol que se utilizó, fue provisto por el laboratorio de química de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho (U.A.J.M.S.); el equipo contaba con:

- Un calentador con regulador de temperatura
- 1 balón de 500 ml
- Malla de amianto
- 1 codo de 45º de inclinación
- Un refrigerante
- Un vaso de precipitación de 500 ml
- Mangueras para la respectiva recirculación de agua

Tal como se puede apreciar en la figura 2-7.

FIGURA 2-7. EQUIPO DE DESTILACIÓN SIMPLE



Fuente: Elaboración propia, 2016.

2.6.2. FERMENTADORES

Los fermentadores que se utilizan fueron diseñados de 2 baldes de 20 litros cada uno, los mismos cuenta con una tapa de cierre hermético, con una boquilla adaptada en la tapa para la salida de los gases que se generan dentro, un orificio para adaptar un termómetro para hacer las mediciones de temperatura correspondiente, otra boquilla en la parte inferior del balde para tomar muestras y medir la concentración de azúcar y pH. Se adaptan ponchillos alrededor de los fermentadores para mantener la temperatura entre 30-33ºC.

FIGURA 2-8. FERMENTADORES



Fuente: Elaboración Propia, 2016.

2.6.3. REFRACTÓMETRO PORTATIL

Equipo que se utiliza para medir la concentración de azúcar que tiene la solución, tomando pequeñas muestras, es capaz de leer de 0 a 32ºB, marca ATAGO CAT.No.2211, dicho equipo se muestra en la figura 2-9.

FIGURA 2-9. REFRACTÓMETRO

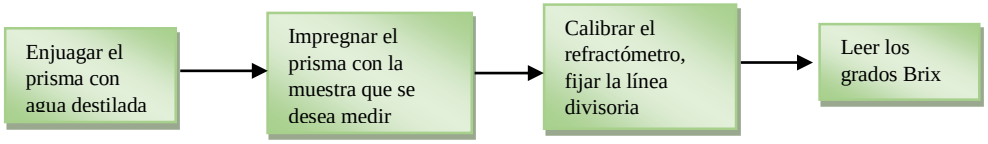


Fuente: Elaboración Propia, 2016.

2.6.3.1. Determinación de grados Brix

Para determinar los grados Brix de alguna solución, se siguen los siguientes pasos que a continuación se muestran en la figura 2-10.

FIGURA 2-10. DETERMINACIÓN DE GRADOS BRIX

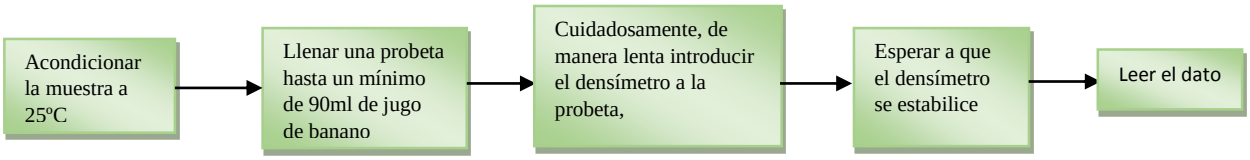


Fuente: Elaboración Propia, 2016.

2.6.3.2. Determinación de la densidad en jugo de banano

Para determinar la densidad en el jugo de banano después de la filtración, se sigue los siguientes pasos; dicho dato se utiliza para hacer los cálculos correspondientes en los balances de materia en el proceso.

FIGURA 2-11. DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD DEL JUGO DE BANANO



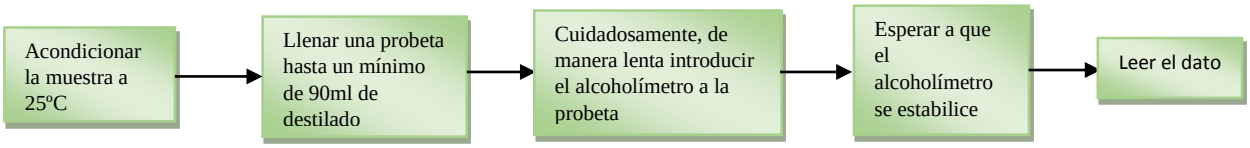
Fuente: Elaboración Propia, 2016.

2.7. ANÁLISIS FISICOQUÍMICOS REALIZADOS EN EL LABORATORIO DE QUÍMICA

2.7.1. ALCOHOL PROBABLE

El alcohol probable se determina por medio de un alcoholímetro. Se realizan con mediciones hasta 90 ml de solución. El procedimiento es mostrado en la figura 2-12.

FIGURA 2-12. DETERMINACIÓN DE ALCOHOL PROBABLE



Fuente: Elaboración propia, 2016.

2.7.2. ANÁLISIS FISICOQUÍMICOS REALIZADOS EN EL CEANID

Los análisis fisicoquímicos que se realizan en el CEANID son de la materia prima, banano maduro, cáscara, pulpa y del producto final alcohol.

2.7.2.1. Análisis fisicoquímico de banano maduro:

Los parámetros que se analizan son:

- Humedad
- Azúcares totales: celulosa, sacarosa, glucosa y dextrosa
- Proteínas
- Cenizas

Los resultados de los análisis obtenidos en el Laboratorio de CEANID se muestran en el anexo G.

2.7.2.2. Análisis fisicoquímico de etanol de banano maduro

Los parámetros que se analizaron fueron:

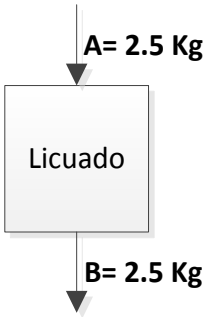
- Azúcares reductores
- Grado alcohólico
- Acidez total
- pH
- Anhídrido sulfuroso libre

Los resultados de los análisis obtenidos por el laboratorio de CEANID se muestran en el anexo H.

2.8. BALANCE DE MATERIA

De acuerdo a la importancia del balance de materia en las distintas etapas del proceso, siendo así, se presenta el mismo.

2.8.1. BALANCE DE MATERIA EN EL LICUADO DE MATERIA PRIMA

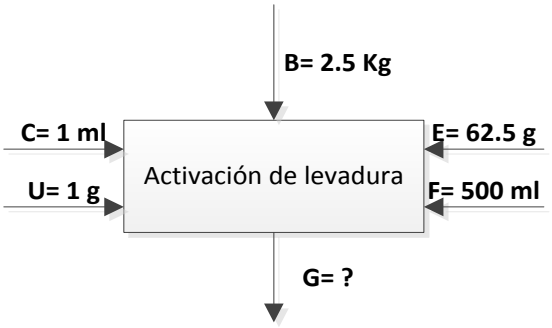


$$A = B \qquad \text{(ec. 2.8.1.1.)}$$

$$A = B = 2.5 \text{ Kg}$$

B = Banano licuado

2.8.2. BALANCE DE MATERIA EN ACTIVACIÓN DE LEVADURA



B = 2.5 Kg de banano licuado

C = ácido orto fosfórico 0.1 N al 10% 1 ml

U = Urea 1 g = $1*10^{-3}$ Kg

E = Levadura *Saccharomyces cereviciae* 62.5 g = 0.0625 Kg

F = 500 ml de agua

G = ?

Para C

ρH_3PO_4 = 1.88 Kg/cm^3

1.88 Kg/cm^3 * 1000 cm^3/L = 1880 Kg/L

1880 Kg/L * 1ml * 1L/1000ml = 1.88 Kg

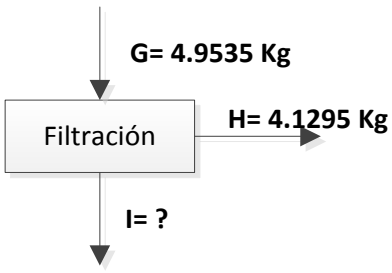
Balance global

G = B + C + D + E +F (ec. 2.8.2.1.)

G = 2.5 Kg + 1.88 Kg + $1*10^{-3}$ Kg + 0.0625 Kg + 0.5 Kg

G = 4.9535 Kg

2.8.3. BALANCE DE MATERIA EN LA FILTRACIÓN



G = 4.9535 Kg de mosto

H = 4.1295 Kg de residuos

ρ Jugo de banano = 1.03 Kg/L (densidad determinada con densímetro utilizado en el laboratorio químico de la Universidad Autónoma "Juan Misael Saracho)

I = ?

Balance global

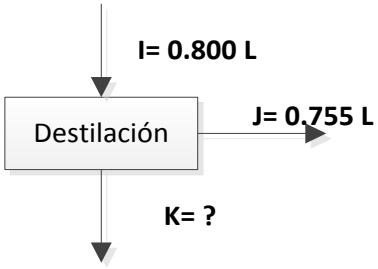
I = G – H (ec. 2.8.3.1.)

I = 4.9535 Kg – 4.1295 Kg

I = 0.824 Kg / 1.03 Kg/L

I = 0.800 L

2.8.4. BALANCE DE MATERIA EN LA DESTILACIÓN



I = 0.800 L de mosto

J = 0.755 L de residuo

K = ?

Balance global

K = I – J (ec. 2.8.5.1.)

K = 0.800 L - 0.755 L

K = 0.0455 ml de destilado

2.9. BALANCE DE ENERGIA

2.9.1. CALOR NECESARIO PARA CALENTAR LA MUESTRA

$$Q_1 = masa\ jugo\ de\ banano\ \int_{to}^{td} Cp\ jugo\ de\ banano\ dT \qquad \text{(ec. 2.9.1.1.)}$$

Donde:

Termino	Definición	Datos
Q_1	Calor requerido para calentar la muestra	
n mezcla	Masa de jugo de banano (mezcla etanol - agua)	0.824 Kg
Cp_{agua}	Calor especifico del agua	1 cal/g ºC
X_{agua}	Composición de agua presente en la mezcla	94.18%
$Cp_{Alcohol}$	Calor especifico del etanol	2.44 J/g ºK
$X_{Alcohol}$	Composición de etanol presente en la mezcla	5.82%
T_o	Temperatura inicial	23 ºC
T_d	Temperatura final	80º C

Utilizando datos iniciales de composición de agua y etanol en la muestra se obtiene:

$$800\ ml_{Jugo\ de\ banano} * \frac{1\ L}{1000\ ml} * 1.03\ \frac{Kg}{L}$$
$$= 0.824\ Kg\ de\ jugo\ de\ banano\ inicial$$

$$6\ \frac{g}{100\ ml} * 800\ ml = 48\ g\ de\ etanol\ inicial$$

$$X_{Alcohol} = \frac{0.048\ Kg * 100\ \%}{0.824\ Kg}$$

$$X_{Alcohol} = 5.82\ \%\ de\ etanol$$

$$X_{agua} = 94.18\ \%\ de\ agua$$

Donde:

$6\ \frac{g}{100\ ml}$ = 6 ºGL inicial

$$Cp_{agua\ Liq} = 1\ \frac{cal}{g\ °c} * \frac{4.1868 * 10^{-3}\ kJ}{1\ cal} * \frac{1000\ g}{1\ Kg} = 4.48\ \frac{kJ}{Kg\ °C + 273\ °K}$$
$$= 0.0164\ \frac{kJ}{Kg\ °K}$$

$$Cp_{Alcohol\ Liq} = 2.44\ \frac{J}{g\ °K} * \frac{0.001\ kJ}{1\ J} * \frac{1000\ g}{1\ Kg} = 2.44\ \frac{kJ}{Kg\ °K}$$

Empleando la (ec. 2.9.1.1.), se obtiene:

$$Q_1 = (m_{Jugo\ banano}(X_{agua} *\ Cp_{agua}) + (X_{Alcohol} *\ Cp_{Alcohol})) *\ \Delta T)$$

$$Q_1 = (0.824\ Kg * \left(\ 0.942 *\ 0.0164\ \frac{kJ}{Kg * °K}\right) + \left(0.0582 *\ 2.44\ \frac{kJ}{Kg * °K}\right))$$
$$* (80 + 273) - (23 + 273))°K$$

$$Q_1 = 7.39\ \text{kJ} = 0.1765\ \text{Kcal}$$

2.9.2. CALOR LATENTE DE VAPORIZACION

$$Q_{Latente\ Mezcla} =\ m_{mezcla} *\ \sum_{i=1} X_i\ *\ \Delta H_{Vi} \qquad \text{(ec. 2.9.2.1)}$$

$$Q_{Latente\ Mezcla} =\ 2.5\ Kg * \left((0.942 * 2257) + (0.0582 * 841\ )\right)\frac{kJ}{Kg}$$

$$Q_{Latente\ Mezcla} = 5437.6005\ kJ =\ 1298.7437\ \text{Kcal}$$

2.9.3. CALOR ABSORBIDO POR EL CONDENSADOR

$$\boldsymbol{Q_{Cond}} = \boldsymbol{m}_{agua} * \boldsymbol{Cp}_{agua} * \Delta \boldsymbol{T} = \boldsymbol{m}_{agua} * \boldsymbol{Cp}_{agua} * (\boldsymbol{T_{Sal}} - \boldsymbol{T_{Ent}}) \qquad \text{(ec. 2.9.3.1.)}$$

Termino	Definición	Datos
Q_{Cond}	Calor que absorbe el condensador	
m_{agua}	Masa de agua que pasa por el condensador	216000 g
Cp_{agua}	Capacidad calorífica del agua liquida	1 cal/ g °C
$T_{Alcohol}$	Temperatura de entrada de agua al condensador	23 °C
T_{Sal}	Temperatura de salida de agua del condensador	26 °C

El Cp del agua se obtiene del libro Smith- Van Ness, Cuarta Edición, la temperatura de entrada y salida del agua del condensador son datos experimentales, la masa del agua se calcula midiendo el caudal másico del agua, dato que se obtiene experimentalmente.

Por lo tanto de la (ec. 2.9.3.1.), se obtiene:

$$\boldsymbol{Q_{Cond}} = 216000\ g * 1\frac{cal}{g\ °C} * (26 - 23)°C$$

$$\boldsymbol{Q_{Cond}} = 648000 cal * 4.184\ \frac{J}{1\ cal} * \frac{1\ kJ}{1000\ J}$$

$$\boldsymbol{Q_{Cond}} = 2711.232\ kJ = 647.5642\ Kcal$$

2.9.4. CALOR TOTAL

$$Q_{Total} = calor\ sencible + calor\ latente\ de\ vaporizacion - calor\ absorbido = Q1 + Q_{Latente\ Mezcla} - Q_{Cond} \quad \text{(ec. 2.9.3.1.)}$$

$$Q_{Total} = 7.39\ kJ + 5437.6005\ kJ - 2711.232\ kJ$$

$$Q_{Total} = 2733.7585\ kJ = 652.9445\ Kcal$$

CAPITULO III

RESULTADOS Y DISCUSION

CAPITULO III

RESULTADOS Y DISCUSION

3.1. RESULTADOS OBTENIDOS EN LA PARTE EXPERIMENTAL DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

3.1.1. RESULTADOS GENERALES DEL LICUADO Y LA INOCULACIÓN DE LEVADURA

El resultado que se obtiene en el proceso de licuado es de 2.5 Kg para todas las muestras, ya que se procede a licuar con los mismos jugos generados en la maceración a la que se somete cada muestra; entonces se dice que para un balance, todo lo que entra en el licuado es igual a lo que sale.

En la preparación de la levadura se tiene un dato de 62.5 g en peso, que se adiciona al banano licuado, haciendo un total de 4.9535 Kg en peso, dato que se obtiene para todas las muestras en sí; entonces es un dato general que modifica en los siguientes procesos que son la filtración y destilación.

3.1.2. RESULTADOS OBTENIDOS EN EL PROCESO DE FERMENTACIÓN

En el proceso de fermentación se mide la degradación de los azúcares fermentecibles, dando como resultado alcohol, que se puede ver en las siguientes tablas; en cada muestra la degradación de azúcares es diferente; esto se comprueba con los datos que se exponen por cada muestra.

Los datos que se presentan en las siguientes tablas nos muestran la variación de azúcares con respecto al tiempo por ejemplo en la muestra 1, se empieza con 16 ºBrix a las 8 am, la siguiente medición se realiza a las 2 pm con ºBrix de 13.8 esto por la adición de levadura y sus respectivos nutrientes en 500 ml de agua, entonces ahí se encuentra una notable variación; ya en las siguientes mediciones, el azúcar varia en rangos diferentes 0.9, 0.4, 0.7; resaltando la temperatura y la levadura responsables de esta variación, controlar la temperatura es de mucha importancia, ya que un aumento o

disminución de la misma se nota en los ºBrix medidos y la levadura; usar una levadura correcta nos dice cuan efectiva será la conversión de azucares en alcohol.

Así mismo para las muestras que empiezan con 13 ºBrix, se sigue el mismo proceso de medición, a los 10 y 8 días de fermentación, la variación es de 0.5, 0.9, 0.4 hasta 1 en cada hora de medición, tomando en cuenta, por supuesto la temperatura y levadura en el proceso, que son responsables de ese cambio.

De acuerdo a bibliografía consultada, una vez que las mediciones se repiten o llegan al mínimo de grados Brix, significa que quedan azúcares fermentecibles pero en muy poca cantidad, entonces se para el proceso, se filtra y posteriormente se destila.

A continuación se presenta los resultados en tabla y graficas que se obtienen en la fermentación de azúcares, las mediciones se realizan 2 veces al día, a las 8 am y 2 pm, esto para tener un mejor conocimiento sobre la degradación de azúcares con respecto al tiempo. Las mediciones se realizaron acorde al diseño factorial (diseño de experimentos); muestras con 16 y 13 ºBrix en 8 y 10 días de fermentación.

3.1.2.1. Variación de azúcares fermentecibles Muestra 1

TABLA III-1. MEDICIÓN POR DÍA DE LA DEGRADACIÓN DE 16ºBRIX Y 10 DIAS DE FERMENTACION

Día	Hora	º Brix
1	8 am	16,0
	2 pm	13,8
2	8 am	13,5
	2 pm	12,6
3	8 am	12,2
	2 pm	11,5
4	8 am	11,0
	2 pm	10,5
5	8 am	10,4
	2 pm	9,3
6	8 am	9,2
	2 pm	8,6
7	8 am	8,3
	2 pm	7,8
8	8 am	7,1
	2 pm	6,8
9	8 am	6,5
	2 pm	5,4
10	8 am	5,2
	2 pm	5,0

Fuente: Elaboración Propia, 2016.

3.1.2.2. Variación de azúcares fermentecibles Muestra 2

TABLA III-2. MEDICIÓN POR DÍA DE LA DEGRADACIÓN DE 13ºBRIX Y 10 DIAS DE FERMENTACION

Día	Hora	º Brix
1	8 am	13,0
	2 pm	11,0
2	8 am	10,7
	2 pm	10,2
3	8 am	9,4
	2 pm	9,0
4	8 am	8,5
	2 pm	8,1
5	8 am	7,8
	2 pm	7,5
6	8 am	7,3
	2 pm	6,6
7	8 am	6,1
	2 pm	5,7
8	8 am	5,4
	2 pm	4,5
9	8 am	4,2
	2 pm	3,4
10	8 am	3,0
	2 pm	3,0

Fuente: Elaboración Propia, 2016.

3.1.2.3. Variación de azúcares fermentecibles Muestra 3

TABLA III-3. MEDICIÓN POR DÍA DE LA DEGRADACIÓN DE 16ºBRIX Y 8 DIAS DE FERMENTACION

Día	Hora	º Brix
1	8 am	16,0
	2 pm	13,0
2	8 am	12,5
	2 pm	12,0
3	8 am	11,7
	2 pm	10,0
4	8 am	9,3
	2 pm	8,5
5	8 am	8,2
	2 pm	7,5
6	8 am	7,4
	2 pm	6,5
7	8 am	6,1
	2 pm	5.0
8	8 am	4,3
	2 pm	4,0

Fuente: Elaboración Propia, 2016.

3.1.2.4. Variación de azúcares fermentecibles Muestra 4

TABLA III-4. MEDICIÓN POR DÍA DE LA DEGRADACIÓN DE 13ºBRIX Y 8 DIAS DE FERMENTACION

Día	Hora	º Brix
1	8 am	13,0
	2 pm	10,4
2	8 am	10,3
	2 pm	9,7
3	8 am	9,1
	2 pm	8,7
4	8 am	8,3
	2 pm	8,0
5	8 am	7,5
	2 pm	7,0
6	8 am	6,3
	2 pm	6,0
7	8 am	5,8
	2 pm	5,0
8	8 am	4,5
	2 pm	4,0

Fuente: Elaboración Propia, 2016.

3.1.2.5. Variación de azúcares fermentecibles Muestra 5

TABLA III-5. MEDICIÓN POR DÍA DE LA DEGRADACIÓN DE 16ºBRIX Y 10 DIAS DE FERMENTACION

Día	Hora	º Brix
1	8 am	16,0
	2 pm	13,0
2	8 am	12,6
	2 pm	12,1
3	8 am	11,8
	2 pm	11,0
4	8 am	10,4
	2 pm	9,3
5	8 am	9,1
	2 pm	8,5
6	8 am	8,3
	2 pm	7,5
7	8 am	6,4
	2 pm	5,8
8	8 am	5,6
	2 pm	4,5
9	8 am	4,2
	2 pm	3,3
10	8 am	3,0
	2 pm	3,0

Fuente: Elaboración Propia, 2016.

3.1.2.6. Variación de azúcares fermentecibles Muestra 6

TABLA III-6. MEDICIÓN POR DÍA DE LA DEGRADACIÓN DE 13ºBRIX Y 10 DIAS DE FERMENTACIÓN

Dia	Hora	º Brix
1	8 am	13,0
	2 pm	10,5
2	8 am	10,3
	2 pm	9,5
3	8 am	9,1
	2 pm	8,6
4	8 am	8,3
	2 pm	7,8
5	8 am	7,4
	2 pm	7,0
6	8 am	6,7
	2 pm	6,1
7	8 am	5,5
	2 pm	5,0
8	8 am	4,8
	2 pm	4,0
9	8 am	3,5
	2 pm	3,1
10	8 am	3,0
	2 pm	3,0

Fuente: Elaboración Propia, 2016.

3.1.2.7. Variación de azúcares fermentecibles Muestra 7

TABLA III-7. MEDICIÓN POR DÍA DE LA DEGRADACIÓN DE 16ºBRIX Y 8 DIAS DE FERMENTACIÓN

Día	Hora	º Brix
1	8 am	16,0
	2 pm	13,5
2	8 am	13,1
	2 pm	12,7
3	8 am	12,3
	2 pm	11,4
4	8 am	11,0
	2 pm	10,8
5	8 am	10,4
	2 pm	9,4
6	8 am	9,2
	2 pm	8,8
7	8 am	7,3
	2 pm	6,5
8	8 am	6,0
	2 pm	5,0

Fuente: Elaboración Propia, 2016.

3.1.2.8. Variación de azúcares fermentecibles Muestra 8

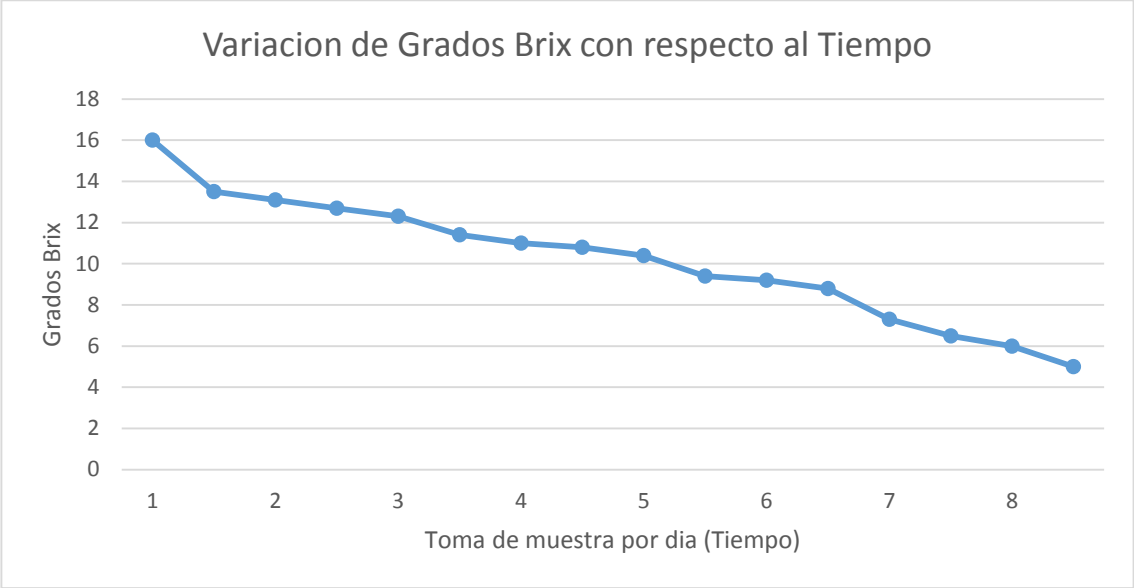
TABLA III-8. MEDICIÓN POR DÍA DE LA DEGRADACIÓN DE 13ºBRIX Y 8 DIAS DE FERMENTACION

Día	Hora	º Brix
1	8 am	13,0
	2 pm	11,0
2	8 am	10,6
	2 pm	10,0
3	8 am	9,2
	2 pm	8,0
4	8 am	7,4
	2 pm	7,0
5	8 am	6,5
	2 pm	6,0
6	8 am	5,8
	2 pm	5,4
7	8 am	4,5
	2 pm	4,0
8	8 am	3,1
	2 pm	3,0

Fuente: Elaboración Propia, 2016.

Por tanto se concluye que el mejor tiempo de fermentación es de 10 días, con 16 ºBrix como inicio que es la muestra 1, ya que en ese tiempo se tiene una mayor conversión de azúcares en alcohol, además de partir con una mayor concentración de azúcares, lo que lo hace más conveniente.

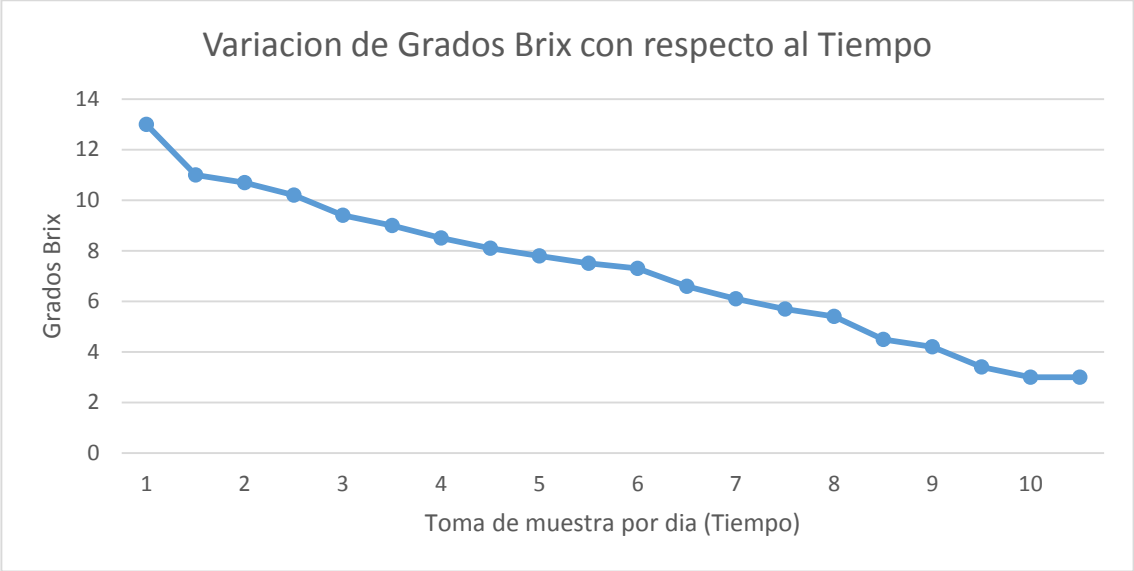
FIGURA 3-1. DEGRADACIÓN DE AZÚCARES CON RESPECTO AL TIEMPO MUESTRA 1



Fuente: Elaboración Propia, 2016.

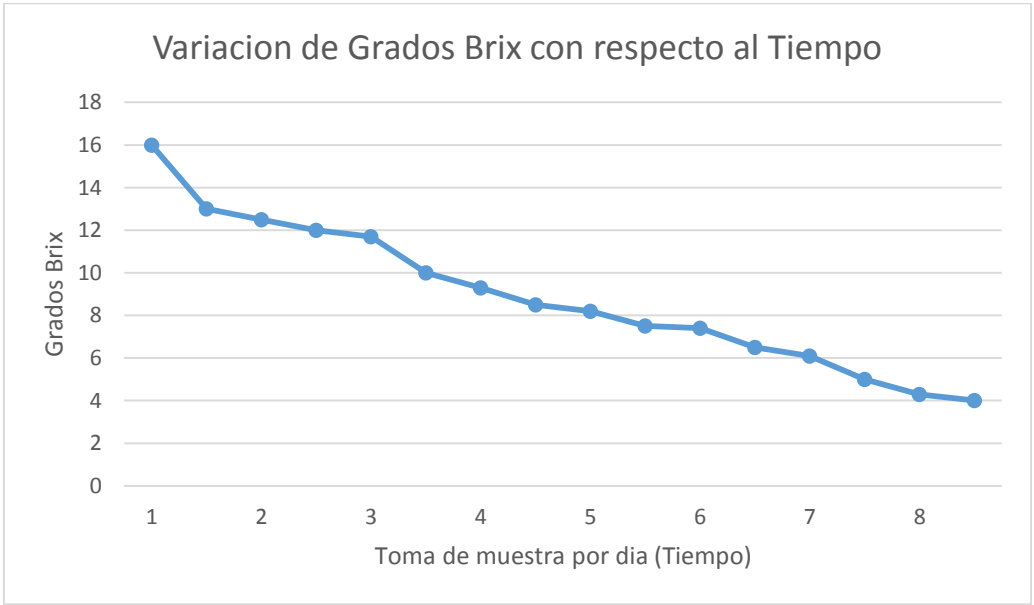
En la figura 3-1 se muestra la variación de grados Brix con respecto al tiempo de la muestra 1; dicha muestra tomada como referencia con respecto a las demás, es la que mejor presenta resultados.

FIGURA 3-2. DEGRADACIÓN DE AZÚCARES CON RESPECTO AL TIEMPO MUESTRA 2



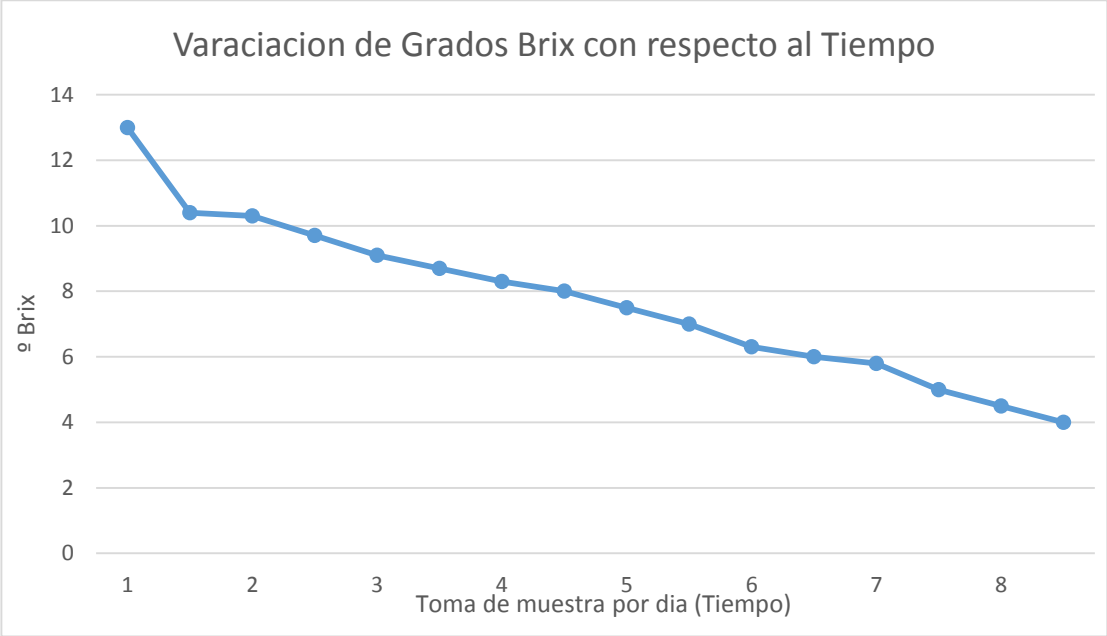
Fuente: Elaboración Propia, 2016.

FIGURA 3-3. DEGRADACIÓN DE AZÚCARES CON RESPECTO AL TIEMPO MUESTRA 3



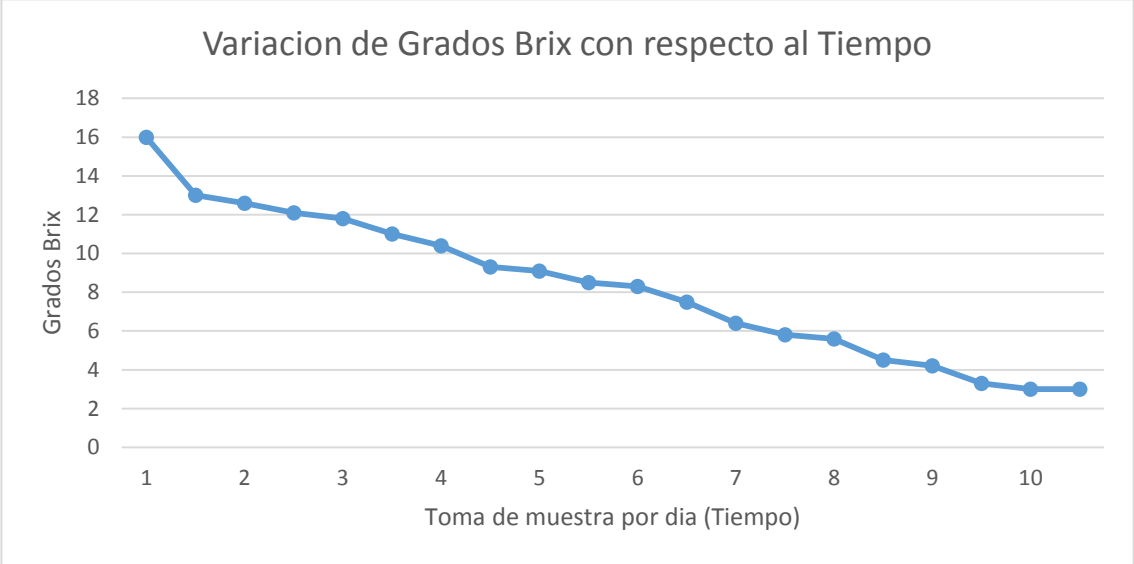
Fuente: Elaboración Propia, 2016.

FIGURA 3-4. DEGRADACIÓN DE AZÚCARES CON RESPECTO AL TIEMPO MUESTRA 4



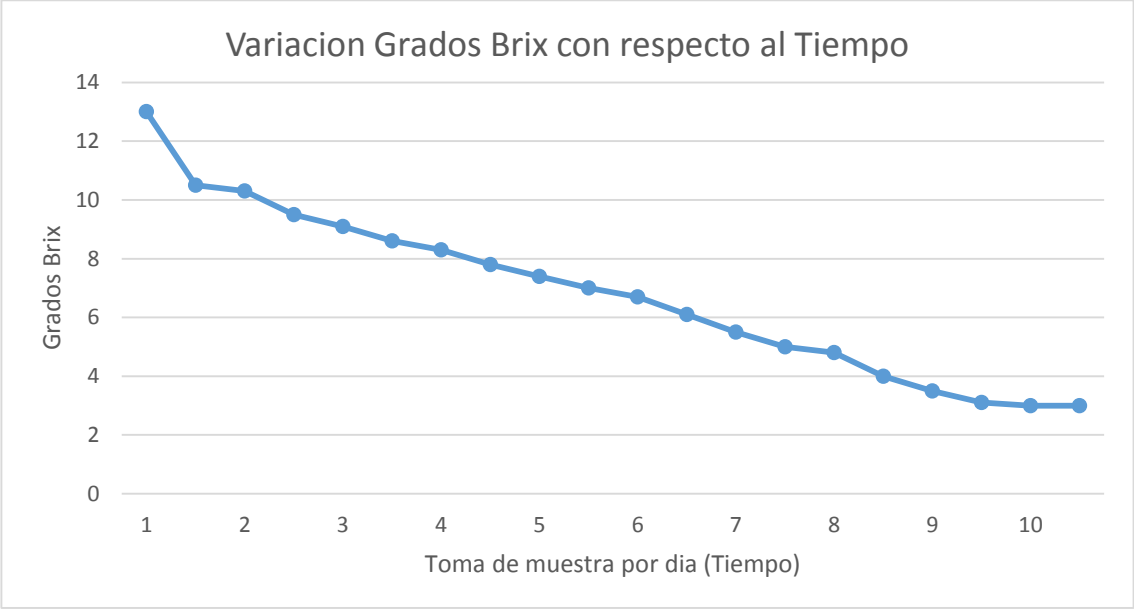
Fuente: Elaboración Propia.

FIGURA 3-5. DEGRADACIÓN DE AZÚCARES CON RESPECTO AL TIEMPO MUESTRA 5



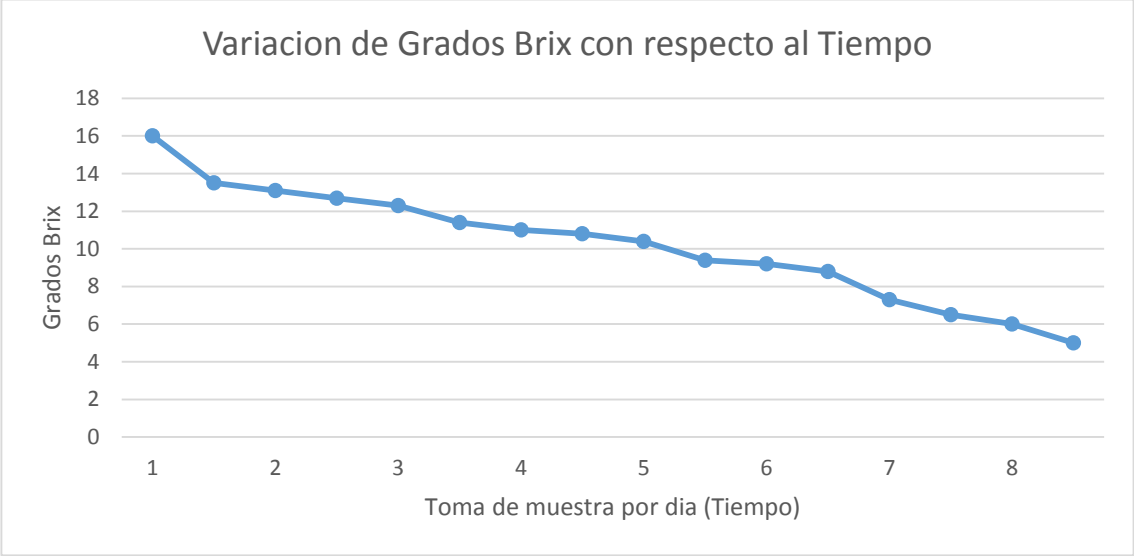
Fuente: Elaboración Propia, 2016.

FIGURA 3-6. DEGRADACIÓN DE AZÚCARES CON RESPECTO AL TIEMPO MUESTRA 6



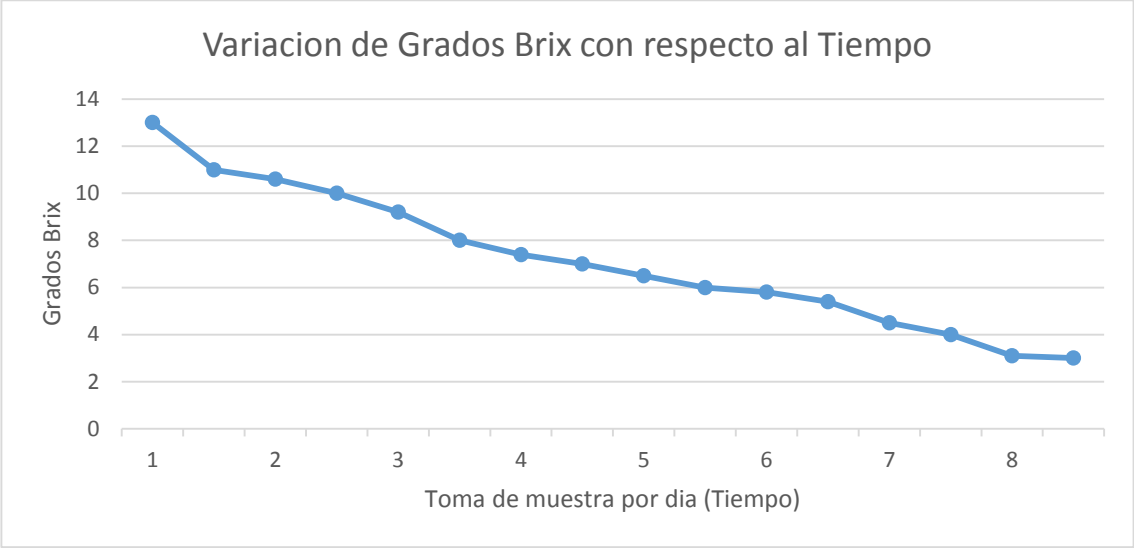
Fuente: Elaboración Propia, 2016.

FIGURA 3-7. DEGRADACIÓN DE AZÚCARES CON RESPECTO AL TIEMPO MUESTRA 7



Fuente: Elaboración Propia, 2016.

FIGURA 3-8. DEGRADACIÓN DE AZÚCARES CON RESPECTO AL TIEMPO MUESTRA 8



Fuente: Elaboración Propia, 2016.

Las gráficas expuestas nos muestran la variación de los grados Brix con respecto al tiempo de las 8 pruebas experimentales

3.1.3. RESULTADOS OBTENIDOS EN LA FILTRACIÓN.

Los resultados obtenidos para las 8 distintas pruebas de filtración se muestran en la tabla III-9.

TABLA III-9. RESULTADOS EN LA FILTRACIÓN

Muestras	Residuo de banano en Kg	Jugos a destilar en Kg	Jugos a destilar en L
1	4.1295	0.824	0.800
2	4.2119	0.7416	0.720
3	4.1501	0.8034	0.780
4	4.2325	0.721	0.700
5	4.2175	0.736	0.715
6	4.1295	0.824	0.800
7	4.1195	0.834	0.810
8	4.1275	0.726	0.705

Fuente: Elaboración propia, 2016.

Para obtener los datos de los jugos a destilar en litros, se divide la densidad del jugo con la masa de jugo a destilar, la densidad se determina en el Laboratorio de Química con un densímetro, dando un resultado de 1.03 Kg/L. por ejemplo:

$$\frac{\mathbf{0.824}\boldsymbol{Kg}}{\mathbf{1.03}\frac{\boldsymbol{Kg}}{\boldsymbol{L}}} = \mathbf{0.800}\ \boldsymbol{L}$$

Se obtiene 0.800 L para la muestra 1; de esa manera se trabaja para todas muestras.

Cabe hacer notar que la mayor parte de masa desechada en la filtración es de considerable peso, ya que solo se pueden recuperar hasta 800 ml de jugo de banano, conociendo que la humedad del banano de acuerdo a análisis realizados en el laboratorio CEANID es de 28.5%, de ahí que se pueden recuperar la cantidad mencionada.

3.1.4. RESULTADOS OBTENIDOS DEL PROCESO DE DESTILACIÓN

Durante el proceso de destilación se obtienen los resultados que se expresan en la tabla III-10.

TABLA III-10. RESULTADOS FINALES DEL PROCESO DE DESTILACIÓN

Muestra	Jugo a destilar en L	Residuo de destilación L	Pérdidas en L	Etanol obtenido en L
1	0.800	0.752	0.003	0.045
2	0.720	0.667	0.003	0.050
3	0.780	0.763	0.002	0.015
4	0.700	0.679	0.003	0.018
5	0.715	0.669	0.002	0.044
6	0.800	0.752	0.002	0.046
7	0.810	0.781	0.002	0.027
8	0.705	0.672	0.002	0.031

Fuente: Elaboración propia, 2016.

De acuerdo a la tabla con los datos expuestos a partir de 2.5 Kg de banano, se pueden obtener jugos de hasta 800 ml como máximo; obteniendo 45 ml de alcohol con una concentración de hasta 21ºGL. Esto es así porque el banano es capaz de producir una cantidad de jugos representativa con tan solo 2.5 Kg de muestra; y de acuerdo a la humedad que presenta en los análisis realizados del fruto, es factible empezar con esa cantidad como base de cálculo.

3.1.5. PARÁMETROS ÓPTIMOS PARA LA OBTENIÓN DE ALCOHOL POR DESTILACIÓN

Las variables que se toman en cuenta para el proceso de destilación son: Tiempo y Temperatura de destilación; parámetros que son controlados para conocer cuál de ellos es el mejor. Dicho esto, con los resultados que se obtienen se llega a la conclusión de que el Tiempo es una variable significativa, que se puede corroborar con los resultados que se exponen en la tabla III-11.

3.1.5.1. RESULTADOS GENERALES DEL PROCESO DE DESTILACIÓN

Durante el proceso de destilación se obtienen los siguientes resultados, para determinar que parámetro (Tiempo o Temperatura) es el óptimo para el proceso.

TABLA III-11. RESULTADOS GENERALES DEL PROCESO DE DESTILACIÓN

Muestra	T (h)	Temp (ºC)	Vol (ml)	ºGL
1	3	75	45	18
2	3	80	50	19
3	2	75	15	20
4	2	80	18	21
5	3	75	44	19
6	3	80	16	18
7	2	75	27	20
8	2	80	31	21

Fuente: Elaboración Propia, 2016.

Dónde:

T (h) = es el tiempo de destilación expresado en horas

Temp (ºC) = es la temperatura de destilación en grados centígrados

Vol (ml) = es el volumen de etanol obtenido en el proceso de destilación expresado en mililitros.

Como se puede apreciar en los resultados expuestos en el proceso de destilación, se dice que se obtiene mayor cantidad de destilado a mayor tiempo de destilación, pero el grado alcohólico disminuye, lo contrario pasa cuando se somete la muestra a menor tiempo de destilación, se obtiene menor cantidad de destilado, pero la concentración en grado alcohólico aumenta; eso con respecto al tiempo ya que es una variable significativa.

En cuanto a la temperatura, al no tener significancia en el proceso de destilación, no influye en la destilación de alcohol, ya que la misma hierve llegando ambas temperaturas de 75 y 80ºC; siendo así, el tiempo es un parámetro óptimo y muy importante para la destilación.

3.1.6. COMBINACIÓN DE VARIABLES PARA LA DESTILACIÓN

Para hacer la combinación de variables se toma en cuenta las variables de tiempo y temperatura, con niveles superior e inferior; la misma se muestra en la tabla III-12.

TABLA III-12. VARIABLES PARA LA DESTILACIÓN

Nivel	Tiempo (h)	Temperatura (ºC)
Superior	3	80
Inferior	2	75

Fuente: Elaboración Propia, 2016.

TABLA III-13. COMBINACIÓN DE VARIABLES PARA LA DESTILACIÓN

Muestra	Tiempo	ºBrix	Variable respuesta Vdest (ml)
1	1	-1	45
2	1	1	50
3	-1	-1	15
4	-1	1	18
5	1	-1	44
6	1	1	46
7	-1	-1	27
8	-1	1	31

Fuente: Elaboración Propia, 2016.

3.1.7. COMBINACIÓN DE VARIABLES PARA LA FERMENTACIÓN

Como se menciona más adelante, la combinación de las variables se muestra de manera puntual en la tabla III-14; esto para hacer los cálculos de la determinación de la cinética de fermentación.

TABLA III-14. VARIABLES DE EXPERIMENTACIÓN PARA LA FERMENTACIÓN

Nivel	Concentración de azúcar inicial (ºBrix)	Tiempo de fermentación (Horas)
Superior	16	10
Inferior	13	8

Fuente: Elaboración Propia, 2016.

TABLA III-15. COMBINACIÓN DE VARIABLES A 2 NIVELES

Muestra	Tiempo	ºBrix Inicial	Variable respuesta ºBrix Final
1	1	-1	4
2	1	1	6
3	-1	-1	5.5
4	-1	1	7
5	1	-1	4
6	1	1	5
7	-1	-1	4
8	-1	1	6

Fuente: Elaboración Propia, 2016.

3.2. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL DISEÑO FACTORIAL

El análisis estadístico se realiza utilizando el paquete computacional SPSS 17.0 (Stadistical Package for the Social Scienses), el mismo que permite un tratamiento

integrado de todas las fases del análisis de datos, obteniendo de esta manera resultados más representativos y confiables.

3.2.1. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL DISEÑO FACTORIAL DEL PROCESO DE FERMENTACIÓN

Con el análisis de Varianza ANOVA se determina la influencia de los factores ºBrix y Tiempo de fermentación y sus respectivas interacciones sobre las variables respuestas grado alcohólico. Los datos introducidos al programa SPSS de acuerdo al diseño experimental planteado se muestran en la Tabla III- 16.

TABLA III-16. DATOS PARA EL ANÁLISIS DE VARIANZA

Nº de ensayos	Factores		Variable Respuesta
	Tiempo	Grados Brix Inicial (ºBrix I)	Grados Brix final (ºBrix F)
1	10 (1)	13 (-1)	4
2	10 (1)	16 (1)	6
3	8 (-1)	13 (-1)	5.5
4	8 (-1)	16 (1)	7
5	10 (1)	13 (-1)	4
6	10 (1)	16 (1)	5
7	8 (-1)	13 (-1)	4
8	8 (-1)	16 (1)	6

Fuente: Elaboración Propia, 2016.

Como se observa en la Tabla III-16 cada factor posee un nivel superior (1) y un nivel inferior (-1), el mismo que se aclara en el diseño de experimentos.

En la Tabla III-17 se muestran las variables del diseño experimental y el número de experiencias para cada variable registrada por el programa y realizada en la parte experimental para un diseño de 2^2 con 2 repeticiones y un total de 8 experimentos, con una variable respuesta.

TABLA III-17. FACTORES INTER-SUJETOS (VARIABLE RESPUESTA GRADO BRIX FINAL)

		N
TIEMPO	-1,00	4
	1,00	4
BI	-1,00	4
	1,00	4

Fuente: SPSS 17.0

3.2.1.1. VARIABLE RESPUESTA GRADO BRIX FINAL

A continuación en la Tabla III-18 se puede apreciar el análisis de varianza para la variable dependiente o variable respuesta grado alcohólico.

TABLA III-18. ANÁLISIS DE VARIANZA ANOVA (GRADO BRIX FINAL)

Variable dependiente: BF

Origen	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	6,844[a]	3	2,281	4,294	0,097
Intersección	215,281	1	215,281	405,235	0,000
TIEMPO	1,531	1	1,531	2,882	0,165
BI	5,281	1	5,281	9,941	0,034
TIEMPO * BI	0,031	1	0,031	0,059	0,820
Error	2,125	4	0,531		
Total	224,250	8			
Total corregida	8,969	7			

a. R cuadrado = 0,763 (R cuadrado corregida = 0,585)

Fuente: SPSS 17.0

A partir de este análisis es posible señalar a las variables significativas con una confianza del 95%, es decir, variables que poseen una significancia menor al 5% que es lo mismo decir un 0.05. Para el caso las variables significativas están constituidas por los grados Brix iniciales con una significancia de 0.034.

3.2.1.2. ANÁLISIS DE REGRESIÓN (GRADOS BRIX FINAL)

El modelo de regresión establece el modelo matemático que relaciona las variables más significativas con la variable respuesta. Para el análisis de regresión, se introduce al SPSS las variables Tiempo (T) y Grados ºBrix iniciales.

TABLA III-19. VARIABLES INTRODUCIDAS/ ELIMINADAS (GRADO BRIX FINAL)

Modelo	Variables introducidas	Variables eliminadas	Método
1	BI, TIEMPO[a]		Introducir

a. Todas las variables solicitadas introducidas.

b. Variable dependiente: BF

Fuente: SPSS 17.0

TABLA III-20. RESUMEN DEL MODELO[b] (GRADO BRIX FINAL)

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación
1	0,864[a]	0,747	0,557	0,79057

a. Variables predictoras: (Constante), TB, BRIX, TIEMPO

b. Variable dependiente: GL

Fuente: SPSS 17.0

TABLA III-21. ANOVA[b] GRADO BRIX FINAL

Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	6,813	2	3,406	7,899	0,028[a]
	Residual	2,156	5	0,431		
	Total	8,969	7			

a. Variables predictoras: (Constante), BI, TIEMPO

b. Variable dependiente: BF

Fuente: SPSS 17.0

TABLA III-21. COEFICIENTES[a] (GRADO BRIX FINAL)

Modelo		Coeficientes no estandarizados		Coeficientes tipificados			Intervalo de confianza de 95,0% para B	
		B	Error típ.	Beta	t	Sig.	Límite inferior	Límite superior
1	(Constante)	5,188	0,232		22,343	0,000	4,591	5,784
	TIEMPO	-0,438	0,232	-0,413	-2,884	0,118	-1,034	0,159
	BI	0,813	0,232	0,767	3,499	0,017	0,216	1,409

a. Variable dependiente: BF

Fuente: SPSS 17.0

Por lo tanto, a partir de los coeficientes proporcionados en la Tabla III-21, la ecuación matemática de la regresión es la siguiente:

*Grado Brix Final = 5,188 - 0,438 * Tiempo*

A partir de esta ecuación es posible establecer que a mayor tiempo de fermentación menor serán los grados Brix finales, lo mismo pasa si la fermentación se realiza a menor tiempo, todavía quedan azúcares fermentecibles; lo que significa que es

conveniente fermentar el mayor tiempo posible dándonos una mayor conversión de azúcares en alcohol.

3.2.2. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL DISEÑO FACTORIAL DEL PROCESO DE DESTILACIÓN

Con el análisis de varianza ANOVA se determina la influencia de los factores Tiempo y Temperatura de destilación y sus respectivas interacciones sobre la variable respuesta volumen de destilado. Los datos introducidos al programa SPSS de acuerdo al diseño experimental planteado se muestran en la Tabla III-22.

TABLA III-22. DATOS PARA EL ANÁLISIS DE VARIANZA EN LA DESTILACION

Nº de ensayos	Factores		Variable Respuesta
	Tiempo (h)	Temperatura (ºC)	Volumen de destilado
1	3 (1)	75 (-1)	45
2	3 (1)	80 (1)	50
3	2 (-1)	75 (-1)	15
4	2 (-1)	80 (1)	18
5	3 (1)	75 (-1)	44
6	3 (1)	80 (1)	46
7	2 (-1)	75 (-1)	27
8	2 (-1)	80 (1)	31

Fuente: Elaboración Propia, 2016.

Como se observa en la Tabla III-22 cada factor posee un nivel superior (1) y un nivel inferior (-1), el mismo que se aclara en el diseño de experimentos.

A continuación en la Tabla III- 23 se puede apreciar se puede apreciar el análisis de varianza para a variable dependiente o variable respuesta volumen de destilado.

TABLA III-23. ANÁLISIS DE VARIANZA ANOVA (VOLUMEN)

Variable dependiente: VDEST

Origen	Suma de cuadrados tipo III	GL	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	1129,000[a]	3	376,333	9,123	0,029
Intersección	9522,000	1	9522,000	230,836	0,000
TIEMPO	1104,500	1	1104,500	26,776	0,007
TEMP	24,500	1	24,500	0,594	0,484
TIEMPO * TEMP	0,000	1	0,000	0,000	1,000
Error	165,000	4	41,250		
Total	10816,000	8			
Total corregida	1294,000	7			

a. R cuadrado = 0,872 (R cuadrado corregida =0 ,777)

Fuente: SPSS 17.0

A partir de este análisis es posible señalar a las variables más significativas con una confianza del 95%, es decir, variables que poseen una significancia menor al 5% (0.05). Para el presente caso la variable significativa es el TIEMPO con un valor de 0.007.

3.2.2.1. ANÁLISIS DE REGRESIÓN (VOLUMEN)

El modelo de regresión establece el modelo matemático que relaciona las variables más significativas con la variable respuesta. Para el análisis de regresión, se introdujo al SPSS las variables Tiempo y Temperatura.

TABLA III-24. VARIABLES INTRODUCIDAS/ELIMINADAS (VOLUMEN)

Modelo	Variables introducidas	Variables eliminadas	Método
1	TT, TEMP, TIEMPO[a]		Introducir

a. Todas las variables solicitadas introducidas.

b. Variable dependiente: VDEST.

Fuente: SPSS 17.0

TABLA III-25. RESUMEN DEL MODELO[b] (VOLUMEN)

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación
1	0,934[a]	0,872	0,777	6,42262

a. Variables predictoras: (Constante), TT, TEMP, TIEMPO

b. Variable dependiente: VDEST

Fuente: SPSS 17.0

TABLA III-26. ANOVA[b] (VOLUMEN)

Modelo		Suma de cuadrados	GL	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	1129,000	3	376,333	9,123	0,029[a]
	Residual	165,000	4	41,250		
	Total	1294,000	7			

a. Variables predictoras: (Constante), TT, TEMP, TIEMPO

b. Variable dependiente: VDEST

Fuente: SPSS 17.0

TABLA III-27. COEFICIENTES[a] (VOLUMEN)

Modelo		Coeficientes no estandarizados		Coeficientes tipificados			Intervalo de confianza de 95,0% para B	
		B	Error típ.	Beta	t	Sig.	Límite inferior	Límite superior
1	(Constante)	34,500	2,271		15,193	0,000	28,195	40,805
	TIEMPO	11,750	2,271	0,924	5,175	0,007	5,445	18,055
	TEMP	1,750	2,271	0,138	0,771	0,484	-4,555	8,055
	TT	0,000	2,271	0,000	0,000	1,000	-6,305	6,305

a. Variable dependiente: VDEST

Fuente: SPSS 17.0

Por lo tanto, a partir de los coeficientes proporcionados en la Tabla III-26, la ecuación matemática de la regresión es la siguiente:

$$VDEST = 34{,}500 - 11{,}750 * T$$

A partir de esta ecuación es posible establecer que a mayor tiempo de destilación mayor es el volumen de destilado que se obtiene, lo mismo pasa si se destila en menor tiempo, se obtiene menor cantidad de volumen.

La concentración de alcohol no se toma en cuenta en esta sección, ya que se determina la misma más adelante, pero no se deja de tener importancia en este paso que es muy importante, se dice que a mayor tiempo de destilación, menos concentración de alcohol que se obtiene, lo mismo pasa al contrario, a menor tiempo de destilación menor cantidad de destilado obtenido pero la concentración de alcohol aumenta.

3.3. CINÉTICA DE FERMENTACIÓN

Para determinar la cinética de fermentación se utiliza uno de los métodos diferenciales para pendientes; el método de los 3 puntos, que nos permite obtener los datos que se exponen a continuación.

En la tabla III-28 se muestra la cinética de fermentación para la muestra 1.

TABLA III-28. CINÉTICA DE FERMENTACIÓN CALCULADA MUESTRA 1

Día	Hora	º Brix	(-d°B/dt)calculado
1	8 am	16,0	2,6211
2	8 am	13,5	1,6395
3	8 am	12,2	1,2396
4	8 am	11,0	0,9313
5	8 am	10,4	0,7977
6	8 am	9,2	0,5686
7	8 am	8,3	0,4279
8	8 am	7,1	0,278
9	8 am	6,5	0,2178
10	8 am	5,2	0,1176

Fuente: Elaboración Propia, 2016.

TABLA III-29. DATOS OBTENIDOS EN LA CINÉTICA DE FERMENTACIÓN MUESTRA 1

Fuente: Elaboración propia, 2016.

t(h)	°Brix = ºB	y1= d°B1/dt	y2= d°B2/dt	y3= d°B3/dt	y4= d°B4/dt	y5= d°B5/dt	y6= d°B6/dt	y7= d°B7/dt	y8= d°B8/dt	(-d°B/dt)	ln (°B)	ln(-dCa/dt)	(-d°B/dt)calculado
1	16	-3,1								3,1	2,772588722	1,131402111	2.6211
2	13,5	-0,65	-1							1,35	2,602689685	0,300104592	1.6395
3	12,2	-0,7	-1,25	-1,05						1,25	2,501435952	0,223143551	1.2396
4	11		-1,15	-0,95	-0,3					1,15	2,397895273	0,139761942	0.9313
5	10,4			-0,3	-0,9	-1,35				0,9	2,341805806	-0,105360516	0.7977
6	9,2				-1,5	-1,05	-0,75			0,75	2,219203484	-0,287682072	0.5686
7	8,3					-0,75	-1,05	-1,5			2,116255515		0.4279
8	7,1						-1,35	-0,9	-0,25	0,25	1,960094784	-1,386294361	0.278
9	6,5							-0,3	-0,95		1,871802177		0.2178

A	k = eA	B = n
-6,69	1,24*10-3	2,7914

Cinética de fermentación muestra 1

$$-rA = 1{,}24 * 10^{-3} \times °B^{2{,}7914}$$

La cinética de fermentación que se logra calcular es la óptima, ya que se ajusta a la linealidad en una gráfica que a continuación se presenta, para la misma se utilizó el programa SPSS.

Con esto se puede concluir de que la cinética de fermentación va acorde al consumo de sustrato por el microorganismo utilizado, en este caso la *Saccharomyces cereviciae*, dándonos una idea de la velocidad de consumo de azúcar para darnos como resultado alcohol; en otras palabras, la velocidad de degradación de azúcares para darnos como alcohol como producto final.

Los resultados de las demás muestras se adjuntan en anexos.

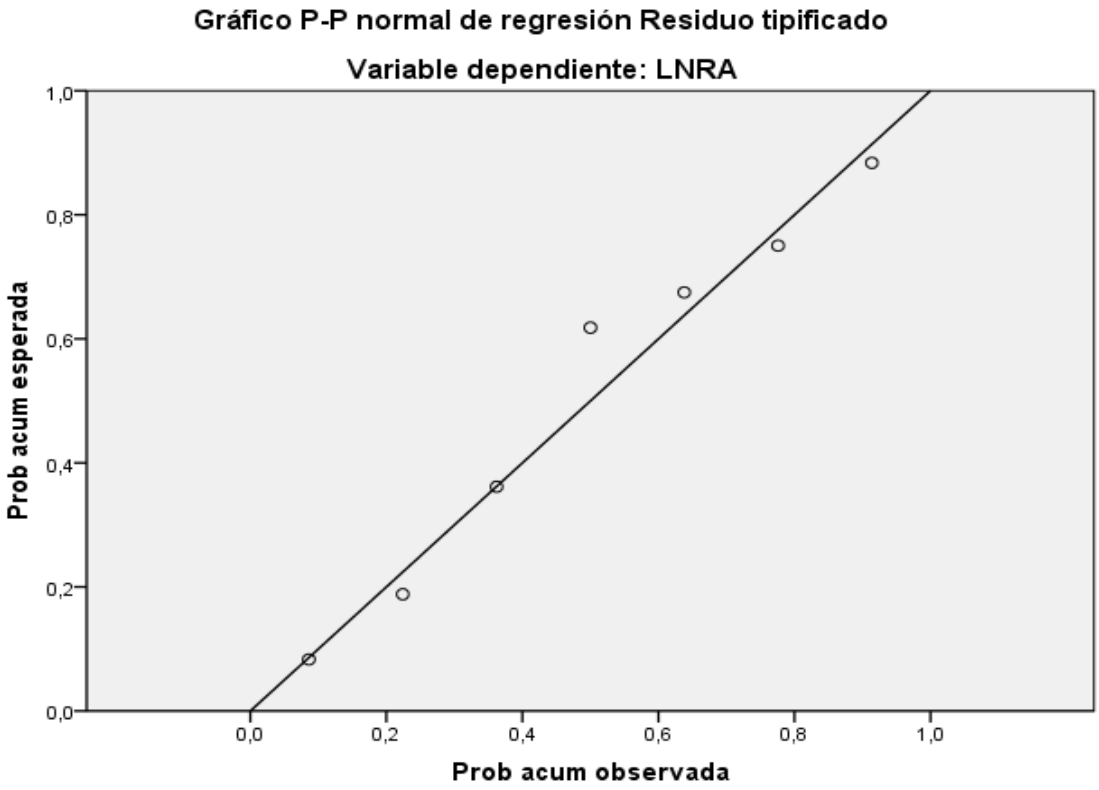
En la siguiente Tabla III-30 se muestra los datos que se utilizaron a partir de la cinética obtenida.

TABLA III- 30. DATOS OBTENIDOS EN LA CINÉTICA DE FERMENTACIÓN MUESTRA 1

ln (°B) (X)	ln(-dCa/dt) (Y)
2,772588722	1,131402111
2,602689685	0,300104592
2,501435952	0,223143551
2,397895273	0,139761942
2,341805806	-0,105360516
2,219203484	-0,287682072
1,960094784	-1,386294361

Fuente: Elaboración Propia, 2016.

FIGURA 3-9. EFECTO DE LA CONCENTRACIÓN DE SUSTRATO SOBRE LA VELOCIDAD DE CRECIMIENTO BACTERIANO



Fuente: SPSS 17.0

Los datos de la Tabla III-30 están reflejados en el gráfico de probabilidad normal de la figura 3-9, donde los puntos se acercan a la linealidad. Se puede observar que los puntos; por lo menos la mayoría, pasan por la traza realizada por el SPSS y se ajustan al mismo, descartándose los que se alejan a la traza para un mejor ajuste y una mayor aproximación a la realidad.

TABLA III-31. VARIABLES INTRODUCIDAS/ELIMINADAS[b]

Modelo	Variables introducidas	Variables eliminadas	Método
1	LNB[a]		Introducir

a. Todas las variables solicitadas introducidas.

b. Variable dependiente: LNRA

Fuente: SPSS 17.0

TABLA III-32. RESUMEN DEL MODELO[b]

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación
1	0,973[a]	0,946	0,935	0,19346

a. Variables predictoras: (Constante), LNB

b. Variable dependiente: LNRA

Fuente: SPSS 17.0

TABLA III-33. ANOVA[b]

Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	3,274	1	3,274	87,475	0,000[a]
	Residual	0,187	5	0,037		
	Total	3,461	6			

a. Variables predictoras: (Constante), LNB

b. Variable dependiente: LNRA

Fuente: SPSS 17.0

TABLA III-34. ESTADÍSTICOS SOBRE LOS RESIDUOS[a]

	Mínimo	Máximo	Media	Desviación típica	N
Valor pronosticado	-1,2189	1,0423	0,0014	0,73869	7
Residual	-0,26770	0,23098	0,00000	0,17660	7
Valor pronosticado tip.	-1,652	1,409	0,000	1,000	7
Residuo típ.	-1,384	1,194	0,000	0,913	7

a. Variable dependiente: LNRA

Fuente: SPSS 17.0

TABLA III-35. COEFICIENTES[a]

Modelo		Coeficientes no estandarizados		Coeficientes tipificados	t	Sig.	Intervalo de confianza de 95.0% para B	
		B	Error típ.	Beta			Límite inferior	Límite superior
1	(Constante)	-6,690	0,719		-9,302	0,000	-8,539	-4,841
	LNB	2,791	0,298	0,973	9,353	0,000	2,024	3,559

a. Variable dependiente: LNRA

Fuente: SPSS 17.0

Se comprobó que las ecuaciones que interpretan el experimento de cada muestra, a través de un análisis de probabilidades muestran como varia la concentración en función del tiempo, y es óptimo, haciendo una simulación del proceso de fermentación y destilación, ya que en el proceso se obtiene una mayor conversión de azúcares a alcohol y en la destilación un mayor grado alcohólico de acuerdo al diseño de experimentos de 20ºGL.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. CONCLUSIONES

- Habiéndose realizado las determinaciones de los parámetros fisicoquímicos del banano maduro en el CEANID (Centro de Análisis Investigación y Desarrollo), determinando propiedades de azúcares totales, cenizas, humedad y proteínas, dando resultados de parámetros óptimos, que se pueden corroborar en los documentos escaneados que se presentan en anexos. No se cuenta con una norma que aprueben los parámetros determinados del fruto de banano, pero sin embargo se hace una comparación con diferentes estudios realizados en Proyectos de Grado con respecto al tema, dicho esto; se puede decir que los resultados encontrados son los óptimos.

- El diseño factorial en el proceso de fermentación toman en cuenta dos variables de grados Brix y tiempo de fermentación y realizando el análisis de varianza ANOVA se determinó que la variable más significativa es el Tiempo de fermentación, obteniéndose una ecuación matemática de regresión, que nos indica que a mayor tiempo de fermentación mayor concentración de alcohol es la que se puede obtener.

- Se realizó el aprovechamiento del banano maduro de descarte obteniendo alcohol de grado alcohólico 20, utilizando como microorganismo productor la levadura *Saccharomyces cerevisiae*, haciendo efectiva la conversión de azúcares presentes en el banano en alcohol.

- La cinética de fermentación determinada es la óptima, ya que se toma a los ^{o}Brix como variable del proceso; se tiene una velocidad óptima conversión de azúcares en alcohol, ya que se mejora la productividad con una buena concentración de alcohol al final de todo el proceso. Es importante conocer la cinética de crecimiento de los cultivos microbianos para predecir cómo va a

evolucionar un cultivo, cómo va a ir consumiéndose el sustrato y cómo se van a ir acumulando los productos del cultivo.

Sin conocer estos factores es muy imprudente iniciar el cultivo en un fermentador de 10.000 litros, por ejemplo, con el coste que ello supone, puesto que no podemos predecir qué va a pasar, cuándo va a completarse el crecimiento, cómo se va a acumular el producto, etc.

- Los parámetros óptimos de destilación que se tomaron en cuenta son el tiempo de destilación y temperatura a la que se somete la solución, pero al realizar el diseño factorial y el análisis de varianza ANOVA, la variable más significativa para el proceso es el tiempo de destilación, a mayor tiempo de destilación menor concentración de grados Gay Lussac (grado alcohólico) pero mayor cantidad de destilado, lo mismo pasa a viceversa, a menor tiempo de destilación mayor la concentración de grados Gay Lussac (grado alcohólico), pero menor la cantidad de destilado.

- Las propiedades fisicoquímicas del producto final: alcohol, se determina en el CEANID (Centro de Análisis Investigación y Desarrollo) controlando parámetros como anhídrido sulfuroso libre, azúcares, grado alcohólico, pH; obteniendo valores óptimos y permisibles respondiendo positivamente a la norma establecida por IBNORCA (Instituto Boliviano de Normalización y Calidad), NB 491, requisitos y método de ensayo para alcohol etílico utilizado en la elaboración de bebidas alcohólicas.

- Se concluye que 10 días de fermentación es el tiempo óptimo para una mayor conversión de azúcares del banano maduro en alcohol, determinando esto con la experimentación.

- El proceso de fermentación se realizó en fermentadores diseñados de acuerdo a los requerimientos necesarios, como aireación, medición de temperatura, toma de muestras para pH y grados Brix.

- El grado alcohólico se determinó con un alcoholímetro que se dispone en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Carrera de Ingeniería Química en condiciones de temperatura ambiente, para comprobar estos resultados se hicieron los análisis fisicoquímicos del producto final en un laboratorio certificado CEANID.

4.2. RECOMENDACIONES

- Promover la investigación para el presente proyecto ya que se tienen un gran potencial, conociendo la cantidad de desechos que se generan.
- En investigaciones futuras se podría aumentar la cantidad de materia prima a utilizar para la obtención de alcohol, en un fermentador más grande, controlando principalmente la temperatura a la cual se somete la fermentación ya que este es un factor muy importante al momento de inocular el mosto.
- Es recomendable controlar de manera efectiva y segura la temperatura a la cual se somete la fermentación, ya que se demostró con la experimentación de que este factor es indispensable para el desarrollo de los microorganismos quienes son responsables de la transformación de azúcares en alcohol.
- Se recomienda tener mucho cuidado al momento de preparar la levadura, que tenga los nutrientes necesarios para que se pueda desarrollar mejor, y no tenga ninguna necesidad al convertir los azúcares en alcohol, al contrario se nutra y tenga el medio más adecuado para una óptima conversión.
- Es recomendable al momento de destilar la solución filtrada del jugo de banano controlar el tiempo de destilación, ya que si se quiere tener una solución con mayor grado alcohólico se debe destilar por lo menos 2 horas de acuerdo a la experimentación, de esa manera tener mayor concentrado que es lo se busca.
- Una recomendación de vital importancia es continuar con la destilación, por lo

menos 3 veces más para concentración los grados Gay Lussac, llegando a obtener alcohol de hasta 96ºGL, el cual ya es alcohol carburante o alcohol medicinal, el mismo seria de mejor utilización en la industria.

- El presente trabajo de investigación brinda información importante para realizar en un futuro un estudio de pre factibilidad. Posteriormente producir una planta a escala piloto con el fin de promover el proceso a nivel industrial